
Komplexitätswahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehrsraum – Einflussfaktoren und Analyse

Zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation von Dipl.-Phys. Nina Müller
geboren am 15.10.1980 in Limburg an der Lahn

Tag der Einreichung: 18.01.2017, Tag der mündlichen Prüfung: 18.05.2017
Darmstadt 2017 — D 17

1. Gutachten: Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh
 2. Gutachten: Prof. Dr. Joachim Vogt
-



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fachbereich Elektrotechnik
und Informationstechnik
Institut EMK
Fachgebiet Lichttechnik

Komplexitätswahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehrsraum – Einflussfaktoren und Analyse

Genehmigte Dissertation von Dipl.-Phys. Nina Müller, geboren am 15.10.1980 in Limburg an der Lahn

1. Gutachten: Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh
2. Gutachten: Prof. Dr. Joachim Vogt

Tag der Einreichung: 18.01.2017

Tag der mündlichen Prüfung: 18.05.2017

Darmstadt 2017 — D 17

Bitte zitieren Sie dieses Dokument als:

URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-62565

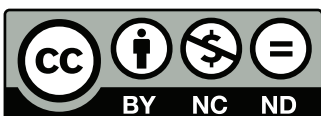
URL: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/6256>

Dieses Dokument wird bereitgestellt von tuprints,

E-Publishing-Service der TU Darmstadt

<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de>

tuprints@ulb.tu-darmstadt.de



Die Veröffentlichung steht unter folgender Creative Commons Lizenz:

Namensnennung – Keine kommerzielle Nutzung – Keine Bearbeitung 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Darmstadt. Die Arbeit wurde zum Teil durch das DFG-geförderte Projekt KH 234/2-1 „Modellierung der Komplexität des Straßenumfeldes im übergeordneten Straßennetz“ finanziert.

Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben. Besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. habil. Tran Quoc Khanh, der die Durchführung dieser Arbeit ermöglichte und mein fachliches Verständnis mit wertvollen Anregungen und Ratschlägen sehr förderte.

Herrn Prof. Dr. Joachim Vogt danke ich für die Übernahme des Korreferats und für die konstruktive Zusammenarbeit der Forschungsgruppe Arbeits- und Ingenieurpsychologie der TU Darmstadt mit dem Fachgebiet Lichttechnik. Die mit Frau M.Sc. Psych. Alisa Boller und Herrn M.Sc. Psych. Philipp Schulz durchgeführte Studie am Fahrsimulator hat diese Arbeit bereichert. Auch ihnen vielen Dank!

Den Herren Jörg Meyer und Günther Hasna, stellvertretend für die Firma OPTIS World, danke ich für die Bereitstellung der Software VRXperience zur Durchführung der Fahrsimulation.

Herrn PD Dr.-Ing. habil. Peter Szolt Bodrogi danke ich für die Betreuung meiner Arbeit und für viele hilfreiche Ratschläge. Mein herzliches Dankeschön gilt meinen Kollegen am Fachgebiet Lichttechnik für die hervorragende Zusammenarbeit und anregende fachliche Diskussionen; ganz besonders danke ich den Herren Dipl.-Ing. Stefan Söllner, Nils Haferkemper, Andreas Groh, Marvin Böll, Dipl.-Phys. Max Wagner und Frau Dorothe Drechsler.

Ich danke auch Herrn M.Sc. Jonas Kobbert und Frau B.Sc. Dragana Stojanovic für ihre Unterstützung bei der Durchführung der Online-Befragung sowie allen Teilnehmern für ihre Mühe und ihre Zeit. Allen Probanden, die sich verschiedenen, anstrengenden Experimenten aussetzten, bin ich zu großem Dank verpflichtet.

Mein tiefster Dank gilt meiner Familie. Meinen Eltern und meinen Geschwistern danke ich sehr für ihre fortwährende Unterstützung und Motivation. Meinem Mann Stefan danke ich neben vielem anderen dafür, dass er in kritischen Phasen für einen gleichbleibend hohen Blutzuckerspiegel sorgte.

Meinen Freunden gilt großer Dank für die aufmunternden Worte in schwierigen Phasen und die Geduld in der langen Zeit.

Bad Camberg, den 18.01.2017

Nina Müller

Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Einflussfaktoren auf die Beanspruchung des Kraftfahrers im nächtlichen Straßenverkehr zu identifizieren und deren Einfluss qualitativ zu bewerten. Schwerpunkte liegen dabei auf der lichttechnischen Beurteilung dieser Faktoren und auf der Eignung biophysikalischer Signale zur Bewertung der verursachten Beanspruchung. Dazu wurden Testreihen im nächtlichen Straßenumfeld sowie im Fahrsimulator durchgeführt; die Blendung wurde isoliert im Labor untersucht.

Die Feldversuche zeigten, dass das Verkehrsaufkommen auf Autobahnen den größten Einfluss auf die gefühlte Beanspruchung hat, auch die Anzahl der Fahrstreifen zeigte eine Auswirkung. Auf Landstraßen hingegen ist der Gegenverkehr der stärkste Einfluss. Sowohl Komplexitätsbewertung als auch gefahrene Geschwindigkeit zeigen signifikante Zusammenhänge zu diesem Faktor. Innerorts ist die Anzahl der Fahrstreifen ein wichtiger Faktor, wobei die Ergebnisse in diesem Fall auf vielfältige Wechselwirkungen von Einflussgrößen schließen lassen. Insgesamt wirkt die Autobahn am wenigsten anregend hinsichtlich der biophysikalischen Signale, auf Landstraßen zeigt sich eine erhöhte Reaktion der Biosignale, in der Stadt ist sie am stärksten ausgeprägt. Die Fahrsimulatorstudie zeigte, dass sich Straßenbeleuchtung positiv auf die empfundene Beanspruchung und abregend auf die Biosignale auswirkt, während Blendung durch Gegenverkehr das Gegenteil bewirkt. Eine helle Innenraumbeleuchtung wird ebenfalls als Beanspruchung empfunden, jedoch weniger stark als die Blendung. Hinsichtlich der biophysikalischen Messwerte zeigten sich bei der mittleren Herzrate und der Skin Conductance Response gute Übereinstimmungen zu der Komplexitätsbewertung. Für die Verwendung dieser Signale ist allerdings die Kontrolle der Einflussfaktoren ein wichtiger Aspekt.

Eine Online-Befragung zeigte, dass sich zusätzlich zu Gegenverkehr und Verkehrsaufkommen auch Wettereinflüsse sowie die Erwartung von Wildwechsel auf die Beanspruchung beim nächtlichen Fahren auswirken. Bei Lichtquellen sind vor allem dynamische Eigenschaften wie Blinken oder Bewegung für eine Erhöhung der Beanspruchung und auch für Ablenkung von der Fahraufgabe verantwortlich.

Basierend auf den Ergebnissen wurde ein qualitatives Komplexitätsmodell für das nächtliche Straßenumfeld entworfen.

Abstract

The aim of the thesis here present is the identification of influence factors on driver's psychological strain in nighttime road traffic and to qualitatively evaluate their impact. The analysis focuses on light influences, such as glare, and the suitability of biophysical signals for the assessment of the strain caused. For this purpose, several test series were carried out in the nocturnal road surroundings as well as in the driving simulator; the impact of glare was evaluated separately in the laboratory.

The field tests showed that on highways, the volume of traffic causes the highest impact on perceived strain. Also, the number of lanes has an influence. On rural roads, on the other hand, oncoming traffic shows the strongest influence. Both complexity rating as well as current speed show a significant relation to this factor. Within city limits, the number of lanes is an important factor, while in this case the results indicate a wide range of interactions of influencing variables. Overall, the highway is the least stimulating to the biophysical signals, on rural roads, there is an increased reaction of the biosignals, and within the city the reaction is most pronounced.

The study in the driving simulator showed that road lighting positively affects the perceived strain and lowers the arousal shown in the biosignals, whereas glare by oncoming traffic causes the opposite. A brighter illumination of the vehicle's interior is also experienced as strain, but less so than the glare.

Regarding the measurement of biophysical signals, the mean heartrate and mean skin conductance response show significant relations to the complexity rating. Still, the control of influence factors is an important premise when evaluating the data.

An online interview showed that in addition to oncoming traffic and traffic volume, the weather and the expectation of deer passing impact the strain in nighttime driving as well. Concerning light sources, primarily dynamic attributes as blinking or movement are causing increased strain and divert the driver from the driving task.

Based on the results, a qualitative model for perceived complexity in nighttime road traffic was formulated.



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
1.1. Kontext und Ziel	1
1.2. Aufbau der vorliegenden Arbeit	1
2. Grundlagen	3
2.1. Lichttechnik	3
2.1.1. Lichttechnik im Straßenumfeld	3
2.1.2. KFZ-Beleuchtung	4
2.2. Wahrnehmung	4
2.2.1. Das visuelle System	4
2.2.2. Blendung und Detektion	5
2.2.3. Wahrnehmung und Aufmerksamkeit	8
2.3. Verhalten im Straßenverkehr	11
2.4. Komplexität	13
2.5. Stress	14
2.5.1. Psychologische Grundlagen	14
2.5.2. Physiologische Grundlagen	15
2.6. Physiologisches Feedback	16
2.6.1. Heart Rate	16
2.6.2. Hautleitfähigkeit	16
2.6.3. Augenbewegungen	16
2.7. Verkehrsunfälle – Statistik und Ursachen	17
3. Stand der Forschung	23
3.1. Einflüsse auf das Fahrerverhalten	23
3.1.1. Eigenschaften von Straße und Straßenumfeld	23
3.1.2. Lichteinflüsse	24
3.1.3. Individuelle Einflüsse	25
3.1.4. Fahrermodelle	26
3.2. Visuelle Wahrnehmung im Straßenverkehr	26
3.3. Komplexität und Stress	28
3.4. Physiologisches Feedback	29
3.4.1. Herzfrequenz	29
3.4.2. Hautleitwert	29
3.5. Fragestellung und Ziel	30
4. Methodik	31
4.1. Überblick	31
4.2. Voruntersuchungen	32
4.3. Feldtests zur Komplexitätswahrnehmung	32
4.3.1. Teststrecke	32
4.3.2. Messung biophysikalischer Signale	34
4.3.3. Testablauf	35
4.4. Labortests zur psychologischen Blendung	36

4.5. Fahrsimulatorstudie zum Stressempfinden	40
4.5.1. Experimentaufbau	41
4.5.2. Probandenkollektiv	43
4.5.3. Testparameter	43
4.5.4. Nebenaufgabe: Navigationssystem	44
4.5.5. Experimentablauf	44
4.6. Fragebogen zum Stressempfinden bei Nachtfahrten	47
5. Auswertung der Untersuchungen	48
5.1. Voruntersuchung – Vokabular und Wortraum	48
5.1.1. Fazit	48
5.2. Feldtests zur Komplexitätswahrnehmung	48
5.2.1. Datenstruktur	50
5.2.2. Voranalyse der unabhängigen Variablen	51
5.2.3. Situationsanalyse	54
5.2.4. Individualanalyse	63
5.2.5. Fazit	66
5.3. Labortests zur psychologischen Blendung	67
5.3.1. Mathematische Analyse der Biodaten	67
5.3.2. Analyse der Bewertung durch die Probanden	68
5.3.3. Individuelle Analyse der Biodaten	68
5.3.4. Fazit	69
5.4. Fahrsimulatorstudie zum Stressempfinden	70
5.4.1. Fehlerbetrachtung der biophysikalischen Messwerte	70
5.4.2. Entwicklung der Analyse-Software	71
5.4.3. Rundenbasierte Auswertungen – Vorgehensweise	71
5.4.4. Rundenbasierte Auswertungen – Bedingung B: Straßenbeleuchtung	73
5.4.5. Rundenbasierte Auswertungen – Bedingung C: Innenraumbeleuchtung	76
5.4.6. Rundenbasierte Auswertungen – Bedingung D: Blendquelle	77
5.4.7. Rundenbasierte Auswertungen – Vergleich der Bedingungen	79
5.4.8. Fazit	82
5.5. Fragebogen zum Stressempfinden bei Nachtfahrten	84
5.5.1. Kategorie Fahrleistung	84
5.5.2. Kategorie Dunkelheit allgemein	85
5.5.3. Kategorie Straßenbeleuchtung	86
5.5.4. Kategorie Ablenkung	89
5.5.5. Weitere Fragen	93
5.5.6. Fazit	101
5.6. Komplexitätsmodell für den nächtlichen Straßenverkehr	107
6. Schlussfolgerungen und Résumé	111
6.1. Ergebnisse	111
6.2. Diskussion und Ausblick	113
6.2.1. Zusammenführende Betrachtung	113
6.2.2. Eignung der biophysikalischen Signale	115
6.2.3. Weitere Erkenntnisse	115
Literaturverzeichnis	116

A. Anhang	125
A.1. Statistische Methoden	125
A.1.1. t-Tests	125
A.1.2. Varianzanalyse	126
A.2. Material zu den Feldtests zu Komplexität	128
A.2.1. Ergänzende Daten zur Methodik	128
A.2.2. Ergänzende Daten zur Auswertung	128
A.3. Material zur Blendungstestreihe	136
A.3.1. Eigenschaften der Blendquelle	136
A.3.2. Ergänzende Daten zur Auswertung: Ergebnisse	136
A.4. Material zur Fahr Simulatorstudie	139
A.4.1. Instruktionen zur Fahr Simulatoraufgabe	139
A.5. Material zum Online-Fragebogen	141
A.5.1. Der Fragebogen	141
A.5.2. Ergänzende Daten zur Auswertung	146
Lebenslauf	183
Erklärung laut §9 der Promotionsordnung	184

Tabellenverzeichnis

2.1. Blendung: Inverse deBoer-Skala	8
2.2. Auszug aus den Auswirkungen von Adrenalin und Noradrenalin aus [40].	15
4.1. Probanden der Voruntersuchung	32
4.2. Feldtests: Probanden	36
4.3. Mögliche Wiedergabereihenfolge des Blendreizes	37
4.4. Probanden der Blendungstestreihe	39
5.1. Auszug aus den Daten der Feldtests	50
5.2. Auszug aus den Daten der Feldtests	51
5.3. Feldtests: Voranalyse der UV	52
5.4. Feldtests: Ergebnisse der Voranalyse	53
5.5. Blendung: Teilergebnis	69
5.6. Fahrsimulator: Ergebnisse der Kontrastanalyse	82
5.7. Fahrsimulator: Ergebnisse der Kontrastanalyse	82
5.8. Fragebögen: Gründe für Straßenbeleuchtung	88
5.9. Fragebögen: Gründe für Straßenbeleuchtung	88
5.10. Verlauf K_x je nach Umfeld und UV	108

Abbildungsverzeichnis

1.1. Aufbau der Arbeit	2
2.1. Schema des Auges	5
2.2. Wahrnehmbarer Leuchtdichtebereich, aus [98]	6
2.3. Objektwahrnehmung	11
2.4. Fahrerverhalten: Verhaltensmodell nach Rasmussen und Donges	12
2.5. Komplexitätskubus.	13
2.6. Unfallstatistik: Unfallentwicklung in Deutschland	17
2.7. Unfälle nach Ortslage	17
2.8. Unfallstatistik: Unfallverteilung nach Lichtverhältnissen	18
2.9. Unfallverteilung nach Lichtverhältnissen und Verkehrsteilnehmern in Deutschland	19
2.10. Unfallstatistik: Unfallverteilung nach Lichtverhältnissen	20
2.11. Allgemeine Unfallursachen 2015 in Hessen.	20
2.12. Häufige nächtliche Unfallursachen 2015 in Hessen.	21
2.13. Unfallverteilung nach Alter des Verursachers 2015 in Hessen.	21
4.1. Streckenverlauf der Feldtests	33
4.2. Das Messgerät Par-Port/F	35
4.3. Feldtests: Fahrerfahrung der Probanden	35
4.4. Feldtests: Skala zur Bewertung der Komplexität durch die Probanden	37
4.5. Blendung: Leuchtdichtevertelung des Hintergrunds	38
4.6. Blendung: Schema zur Anordnung des Blendreizes.	38
4.7. Blendung: Software zur Steuerung	39
4.8. Aufbau des Blendungsexperiments	40
4.9. Streckenverlauf im Fahrsimulator	42
4.10. Leuchtdichte und Aufbau der Fahrsimulatorstudie	42
4.11. Probanden der Fahrsimulatorstudie	43
4.12. Blendbedingung im Fahrsimulator	44
4.13. Testparameter der Fahrsimulatorstudie	45
4.14. Nebenaufgabe der Fahrsimulatorstudie	46
4.15. Fragebogen: Probandeneigenschaften	47
5.1. Wortraum	49
5.2. Beschädigtes SCR-Signal	50
5.3. Feldtests: Datenmodell der Messwertdatenbank	52
5.4. Analyse-Software für Biodaten mit Video	53
5.5. Feldtests: Voranalyse – Herzfrequenz und Geschwindigkeit	54
5.6. Feldtests: Ergebnisse für Autobahnen	55
5.7. Feldtests: Ergebnisse für Landstraßen	56
5.8. Feldtests: Ergebnisse für Landstraßen / innerorts	56
5.9. Feldtests: Räumliche Zuordnung der Komplexitätsbewertungen	57
5.10. Feldtests: Ergebnisse für Autobahnen und Verkehrsaufkommen	58
5.11. Feldtests: Ergebnisse für Autobahnen und Verkehrsaufkommen	59
5.12. Feldtests: Ergebnisse für Landstraßen und Verkehrsaufkommen	59

5.13. Feldtests: Ergebnisse für innerorts und Verkehrsaufkommen	60
5.14. Feldtests: Ergebnisse für innerorts und Verkehrsaufkommen	60
5.15. Feldtests: Ergebnisse für innerorts und Verkehrsaufkommen	61
5.16. Feldtests: Ergebnisse für innerorts und Verkehrsaufkommen	61
5.17. Feldtests: Ergebnisse für Autobahnen und Lichtquellen	63
5.18. Feldtests: Ergebnisse für Autobahnen und Lichtquellen	64
5.19. Feldtests: Ergebnisse für Landstraßen und Lichtquellen	64
5.20. Feldtests: Ergebnisse für Landstraßen bzw. innerorts und Lichtquellen	65
5.21. Feldtests: Ergebnisse der individuellen Auswertung	65
5.22. Software zur Fehlerermittlung	67
5.23. Blendung: Mittelwerte der normierten Biodaten	68
5.24. Blendung: Bewertungen auf der inversen deBoer-Skala.	69
5.25. Verlauf von SCL und Blendreiz	70
5.26. Analyse-Software für Biodaten	71
5.27. Fahrsimulator: Herzfrequenzmesswerte für Bedingung B – Straßenbeleuchtung .	73
5.28. Fahrsimulator: Hautleitwerte für Bedingung B – Straßenbeleuchtung	74
5.29. Fahrsimulator: Ergebnisse der Fragebögen für Bedingung B – Straßenbeleuchtung	75
5.30. Fahrsimulator: Rundenzeit und Fahrfehler für Bedingung B – Straßenbeleuchtung	75
5.31. Fahrsimulator: Herzfrequenzmesswerte für Bedingung C – Innenraumbeleuchtung	76
5.32. Fahrsimulator: Auswertung der Hautleitwerte zu Bedingung C – Innenraumbeleuchtung	77
5.33. Fahrsimulator: Ergebnisse der Fragebögen für Bedingung C – Innenraumbeleuchtung	77
5.34. Fahrsimulator: Rundenzeit und Fahrfehler für Bedingung C – Innenraumbeleuchtung	78
5.35. Fahrsimulator: Herzfrequenzmesswerte für Bedingung D – Blendung	78
5.36. Fahrsimulator: Auswertung der Hautleitwerte zu Bedingung D – Blendung	79
5.37. Fahrsimulator: Ergebnisse der Fragebögen zu Bedingung D – Blendung	79
5.38. Fahrsimulator: Rundenzeit und Fahrfehler für Bedingung D – Blendung	80
5.39. Fahrsimulator: Vergleich der HF, Fahrfehler und -zeiten zwischen den Bedingungen	80
5.40. Fahrsimulator: Vergleich der Hautleitwerte zwischen den Bedingungen	81
5.41. Fahrsimulator: Vergleich der Fragebogenergebnisse zwischen den Bedingungen .	81
5.42. Fahrsimulator: Alternativhypothesen in Form der λ -Verteilung	83
5.43. Fragebogen: Fahrleistung nach Altersgruppe	84
5.44. Fragebogen: Häufigkeit des Fahrens im Dunkeln im Winter	85
5.45. Fragebogen: Fahren bei Dunkelheit.	86
5.46. Fragebogen: Straßenbeleuchtung in verschiedenen Umgebungen	86
5.47. Fragebogen: Ist Straßenbeleuchtung hilfreich?	87
5.48. Fragebogen: Ablenkung in städtischer Umgebung	89
5.49. Fragebogen: Ablenkung in städtischer Umgebung	90
5.50. Fragebogen: Ablenkung auf der Landstraße	91
5.51. Fragebogen: Ablenkung auf der Autobahn	92
5.52. Fragebogen: Ablenkung durch verschiedene Farben	92
5.53. Fragebogen: Störende Eigenschaften von Lichtquellen	93
5.54. Fragebogen: Störende Eigenschaften von Lichtquellen	94
5.55. Fragebogen: Gewünschte Helligkeit der Innenraumbeleuchtung	95
5.56. Fragebogen: Anstrengung nach Verkehrsaufkommen	95
5.57. Fragebogen: Anstrengung nach Verkehrsaufkommen bzw. Gegenverkehr	96

5.58. Fragebogen: Beanspruchung auf Hauptstraßen in der Stadt bzw. an mehrstreifigen Kreuzungen mit LSA.	97
5.59. Fragebogen: Beanspruchung in verschiedenen Umgebungen bzw. an Kreisverkehren.	98
5.60. Fragebogen: Beanspruchung auf Landstraßen.	98
5.61. Fragebogen: Beanspruchung auf Autobahnen.	99
5.62. Fragebogen: Erhöhte Aufmerksamkeit.	100
5.63. Fragebogen: Erhöhte Aufmerksamkeit	100
5.64. Fragebogen: Erhöhte Aufmerksamkeit.	101
5.65. Fragebogen: Weitere Störeinflüsse	102
5.66. Fragebogen: Weitere Stressoren	103
5.67. Fragebogen: Gefährliche Einflüsse	104
5.68. Fragebogen: Unfallerlebnis bei Dunkelheit	105
5.69. Dreidimensionales Modell	107
5.70. Fitfunktionen für Kx nach Verkehr bzw. Fahrstreifen	109
5.71. Fitfunktion Komplexität und Gegenverkehr	110
5.72. Fitfunktion Gegenverkehr im Fahrsimulator	110
6.1. Vergleich der Ergebnisse zur Blendung	114
6.2. Vergleich der Ergebnisse zur Blendung	114

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance
AV	Abhängige Variable
BAB	Bundesautobahn
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage, Internationale Beleuchtungskommission
EDA	Elektrodermale Aktivität
EKG	Elektrokardiogramm
EOG	Elektrookulogramm
HF	Herzfrequenz
HR	Herzrate
IBI	Interbeat interval
LMK	Leuchtdichtemesskamera
LSA	Lichtsignalanlage
SCL	Skin Conductance Level
SCR	Skin Conductance Response
RVP	Relative Visual Performance
UV	Unabhängige Variable
VZ	Verkehrszeichen

Nomenclature

K_x	Komplexitätsbewertung eines Szenarios
λ	Die λ -Verteilung dient in der Kontrastanalyse zur Formulierung der Alternativhypothese.
μV	Mikrovolt, Einheit für die Spannung
A	Ampère, Einheit für den Strom
cd/m ²	Candela pro Quadratmeter, Einheit der Leuchtdichte
E	Beleuchtungsstärke
FStr	Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung
GgVk	Gegenverkehrsaufkommen
L	Leuchtdichte
LQ	Menge der Lichtquellen
lx	Lux, Einheit der Beleuchtungsstärke
N	Anzahl der Stichproben
nm	Nanometer, Einheit der Wellenlänge
v	Geschwindigkeit
Vk	Verkehrsaufkommen

In der vorliegenden Arbeit wird nur aus Gründen der besseren Lesbarkeit vornehmlich die männliche Form von Personen verwendet. Die Betrachtungen schließen Probandinnen, Fahrerinnen, Mitarbeiterinnen etc. selbstverständlich in gleichem Maße mit ein.



1 Einführung

1.1 Kontext und Ziel

Das Fachgebiet Lichttechnik an der TU Darmstadt beschäftigt sich neben der Forschung zur Lichtmesstechnik, Innenraum- und Straßenbeleuchtung unter anderem auch mit der Wahrnehmung von Licht. Dabei geht es um Wahrnehmung unterschiedlichster Art, wie zum Beispiel die Empfindlichkeit des Auges für Licht verschiedener Wellenlängen oder die Kontrastwahrnehmung bei Umfeldern verschiedener Leuchtdichte. Auch die Wahrnehmung von Blendung und die Wahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehrsraum werden untersucht.

Das Autofahren ist eine komplexe Tätigkeit, die in einem vielseitigen und dynamischen Umfeld ausgeübt wird. Eine Störung, die einen Fahrfehler nach sich zieht, kann schwere Folgen haben. Allein diese Tatsache kann schon für den Fahrzeugführer belastend sein. Wenn außerdem noch Blendung eintritt, die die visuelle Wahrnehmung beeinträchtigt oder den Fahrer stört, kann Stress entstehen. Aus diesem Grund wurde am Fachgebiet Lichttechnik eine Studie durchgeführt, die die Komplexität des Straßenumfeldes analysiert, Störfaktoren bewertet und die Auswirkungen auf den Fahrer untersucht, mit dem Ziel Parameter zu finden, die die Komplexität einer Verkehrssituation beeinflussen. Dabei wurden die Untersuchungen auf den nächtlichen Straßenverkehr beschränkt, da hier die Auswirkungen von Lichteinflüssen besonders hervortreten.

Die vorliegende Arbeit soll weiterhin zeigen, ob die Messmethode des physiologischen Feedbacks geeignet ist, um Stress, verursacht durch Lichtsituationen, nachzuweisen. Der Einfluss dieser Parameter auf den Autofahrer bzw. die Autofahrerin soll durch deren individuelle Bewertung und die Messung ihrer physiologischen Reaktionen nachgewiesen werden. Dieser Einfluss kann einerseits bedeuten, dass die Testperson akuten Stress empfindet, oder andererseits, dass eine Dauerbelastung vorliegt und dadurch Ermüdungserscheinungen auftreten. Schließlich werden die Einflussgrößen für die Komplexität von Verkehrssituationen und im Straßenumfeld modelliert.

1.2 Aufbau der vorliegenden Arbeit

Inhalt und Ziele dieses Forschungsprojekts entspringen mehreren Themengebieten, u.a. der Lichttechnik, der Arbeits- bzw. Stresspsychologie, dem Straßen- und Verkehrswesen und weiteren. Die für das Verständnis dieser Arbeit notwendigen Grundlagen aus den verschiedenen Bereichen werden in Kapitel 2 beschrieben. Da es im Verkehrsraum eine derart große Anzahl von Einflüssen gibt, besteht ebenso die Notwendigkeit zur Recherche bestehender Arbeiten. Ergebnisse aktueller Forschungsreihen werden in die Ermittlung der Komplexitätseinflüsse einbezogen und zur Unterstützung der vorliegenden Ergebnisse verwendet (Kapitel 3). Schließlich werden Untersuchungen entworfen, um die in den Zielen geforderten Nachweise zu erbringen. Gestaltung und Untersuchungsmethodik werden in Kapitel 4 erläutert sowie die erlangten Ergebnisse in Kapitel 5 dargelegt. Weiter werden die Auswertungen der Testreihen zusammengeführt und zur Ableitung eines Modells herangezogen, das die untersuchten Parameter mit der Komplexität in Verkehr und Straßenumfeld in Beziehung setzt. Abschließend werden in Kapitel 6 die Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert.

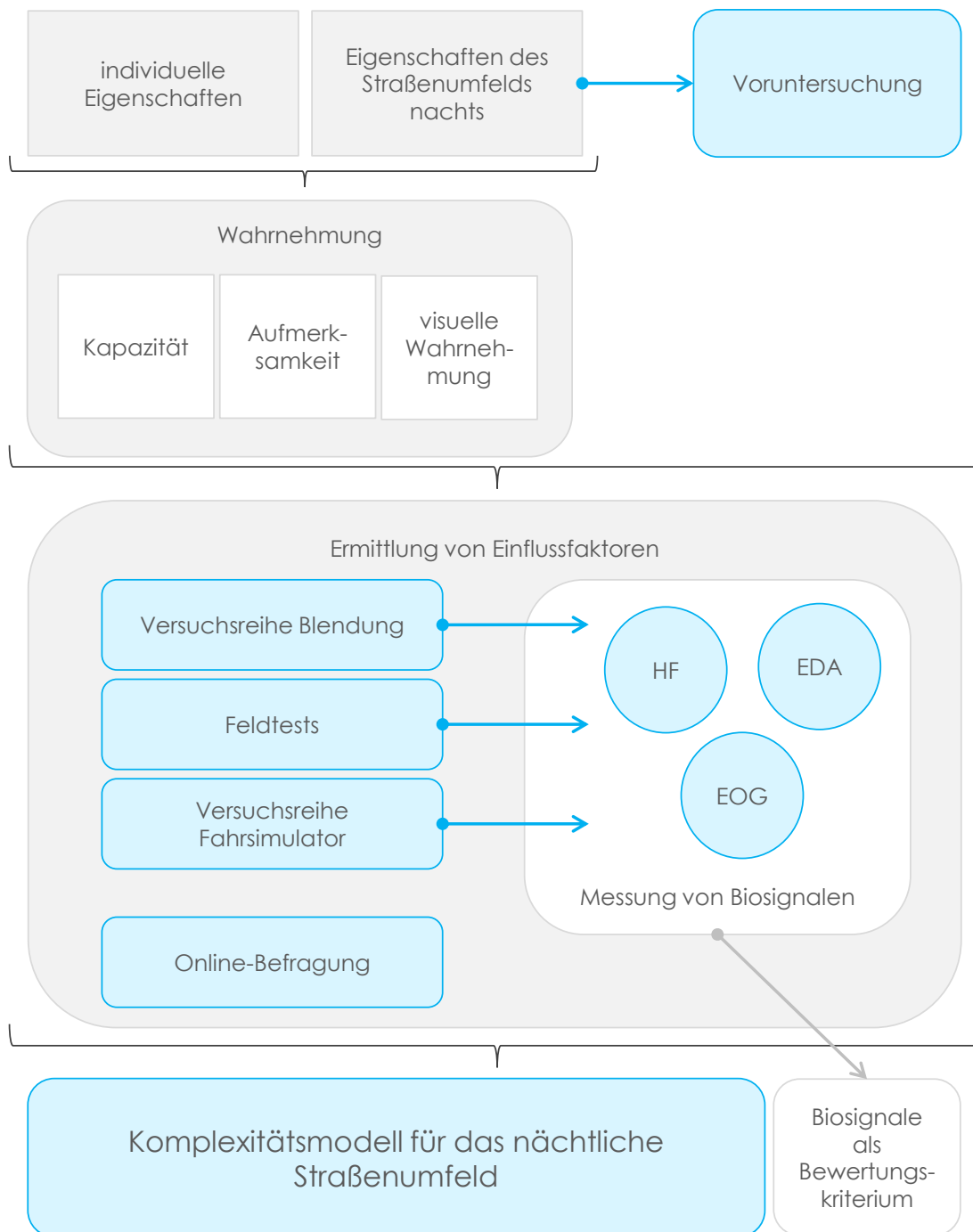


Abbildung 1.1.: Aufbau der vorliegenden Arbeit.

2 Grundlagen

2.1 Lichttechnik

Die Lichttechnik beschäftigt sich unter anderem mit dem Messen der Eigenschaften von Licht und Lichtquellen. Dabei liegt ein Schwerpunkt, neben beispielsweise der Spektrometrie, auf der Bewertung der Lichtwahrnehmung durch den Menschen.

Die vier lichttechnischen Grundgrößen Lichtstärke I , Lichtstrom Φ , Beleuchtungsstärke E und Leuchtdichte L werden hier zur besseren Übersicht kurz erläutert. Ausführliche Beschreibungen finden sich z.B. bei Gall [38] oder Schreuder [98]. Sie entsprechen physikalischen Größen zur Strahlungsmessung, die so umgerechnet wurden, dass sie die Wahrnehmung des menschlichen Auges einbeziehen (siehe Abschnitt 2.2.1).

Der *Lichtstrom* Φ wird in Lumen (lm) angegeben und beschreibt die vollständige Lichtleistung, die von einer Lichtquelle in die Umgebung abgestrahlt wird. Der Lichtstrom einer 100-Watt-Glühlampe beträgt bei 230 V beispielsweise 1.380 lm. Die *Lichtstärke* I , gemessen in Candela (cd), beschreibt den Lichtstrom, der in einem normierten Bereich, dem sogenannten Einheitsraumwinkel Ω ($\Omega = A/r^2$, Einheit Steradian(sr)) abgestrahlt wird. Eine Kerze, die Namensgeberin der SI-Einheit Candela, strahlt in alle Richtungen etwa 1 cd ab, eine 100-W-Glühlampe etwa 110 cd. Die *Beleuchtungsstärke* E , Einheit Lux (lx), beschreibt, welcher Lichtstrom auf eine gegebene Fläche fällt. Die Beleuchtungsstärke auf der Erde in Deutschland (etwa 50° nördlicher Breite) an einem Sommertag beträgt ca. 90.000 lx, an einem trüben Wintertag hingegen nur ca. 3.000 lx. Die *Leuchtdichte* L , gemessen in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2), gibt einerseits an, in welcher Verteilung eine Oberfläche, die mit einer gegebenen Lichtstärke beleuchtet wird, das Licht wieder abstrahlt. Andererseits zeigt sie, wie hell eine flächige Lichtquelle einer gegebenen Beleuchtungsstärke unter dem Einheitsraumwinkel Ω erscheint. Sie entspricht der durch den Menschen wahrgenommenen Helligkeit und ist unabhängig davon, wie weit die Lichtquelle vom Sensor bzw. Betrachter entfernt ist. Die Leuchtdichte einer Xenonhöchstdrucklampe beträgt in etwa $180.000 cd/m^2$, die des Mondes liegt bei ca. $2,5 cd/m^2$ (aus: Gall [38]).

Im Straßenverkehr behandelt die Lichttechnik sowohl das Straßenumfeld, im Besonderen Straßenbeleuchtung und Fahrbahnbelag sowie -markierung, als auch die Beleuchtung des Fahrzeuges selbst. Dazu gehören Scheinwerfer und Funktionsleuchten genauso wie die Beleuchtung des Innenraumes mit Armaturen und Schaltelementen.

2.1.1 Lichttechnik im Straßenumfeld

Lichttechnik spielt im Straßenumfeld vor allem bei Dunkelheit und widrigen Wetterverhältnissen wie Regen oder Nebel eine Rolle. Straßenbeleuchtung ist vor allem innerorts vorhanden und dient für Fußgänger dem Erkennen von anderen Personen und Hindernissen in ihrer Umgebung. Für Kraftfahrer ist die Erkennung von Fußgängern ebenfalls ein wichtiger Gesichtspunkt der Straßenbeleuchtung. Weiterhin sind Straßenverlauf und Hindernisse auch in einer Entfernung sichtbar, die bei Abblendlicht nicht mehr durch die Fahrzeugscheinwerfer erreicht wird. Auch das Hervorheben und Ausleuchten anspruchsvoller Abschnitte wie Fußgängerüberwege oder Kreuzungen auf Landstraßen, die Unfallhäufungspunkte sind, sind Einsatzbereiche für Straßenbeleuchtung.

Die Eigenschaften der Beleuchtungseinrichtungen im Verkehrsumfeld sind in Deutschland durch die DIN EN 13201 [28] geregelt. Neben Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte werden auch bspw. Blendungswerte und Messverfahren vorgegeben. Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte variieren nach Straßentyp und -klasse: Auf Straßen der M-Klasse, welche für motorisierten Verkehr höherer Fahrgeschwindigkeit gilt, darf die mittlere Leuchtdichte \bar{L} zwischen $0,3\text{cd/m}^2$ und $2,0\text{cd/m}^2$ betragen. Auf Straßen der C- bzw. P-Klasse wird die Beleuchtungsstärke als Kriterium vorgegeben. Die C-Klasse gilt bspw. für Anwohner- oder Geschäftsstraßen, also Verkehrswege, auf denen geringere Geschwindigkeiten gefahren werden und auch Fußgänger sowie Radfahrer unterwegs sind, allerdings der Hauptnutzer der motorisierte Verkehr ist. Auf Straßen bzw. Wegen oder Plätzen der P-Klasse ist hauptsächlich nicht motorisierter Verkehr vorhanden. Die mittleren Beleuchtungsstärken \bar{E} sollen nach DIN EN 13201 auf Wegen der P-Klasse zwischen $2lx$ und $15lx$ und auf Wegen der C-Klasse zwischen $7,5lx$ und $50lx$ betragen.

Die Reflexionseigenschaften von Straßenbelag und -markierung unterstützen Autofahrer ebenso wie die Leitpfosten bei der Wahrnehmung des Straßenverlaufs. Auf den Fahrer wirken im Straßenumfeld weitere Lichteinflüsse, die hilfreich oder störend sein können, wie Leuchtreklame, Videowände, beleuchtete Tankstellen etc. Auch Lichtsignalanlagen (LSA) sind Lichtquellen, die je nach Situation für die Orientierung hilfreich oder störend sind. Reflektierende Verkehrszeichen können, auch wenn sie gut lesbar sind, in großer Zahl oder bei ungewohnter Anordnung verwirrend wirken. Auf die Auswirkungen dieser Einflüsse auf den Autofahrer wird in Abschnitt 3.1 weiter eingegangen.

2.1.2 KFZ-Beleuchtung

An Kraftfahrzeugen sind eine Vielzahl von Leuchten möglich. Abblend- und Fernlicht dienen der besseren Sicht des Fahrzeugführers bei schlechten Sichtverhältnissen. Die Lichtverteilung des Abblendlichts ist in verschiedenen ECE-Regelungen vorgegeben (u.a. [33]), um einerseits eine gute Ausleuchtung des Raumes vor dem Fahrzeug zu gewährleisten, andererseits die Blendung des entgegenkommenden Verkehrs zu minimieren.

Richtungsanzeiger, sprich „Blinker“, dienen der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern. Das Tagfahrlicht dient der besseren Erkennbarkeit des eigenen Fahrzeugs im Gegenverkehr. Nebelscheinwerfer und Nebelschlussleuchte sollen Sicht und Sichtbarkeit bei Nebel verbessern.

Auch im Innenraum der Fahrzeuge sind viele Lichtquellen angeordnet: Die Anzeigen im Armaturenbrett, Schalter zur Bedienung von Klimaanlage, Radio und weiteren Funktionen müssen auch bei Dunkelheit erkennbar sein. Einige Fahrzeughersteller bieten auch die Beleuchtung des Fußraumes, der Türgriffe und weiterer Elemente in zum Teil wechselnden Farben an.

2.2 Wahrnehmung

In der Rolle des Autofahrers ist der Mensch einer Vielzahl von Reizen ausgesetzt. Teilweise sind diese für die Bewältigung der Aufgabe relevant und hilfreich, teilweise irrelevant und teilweise störend.

2.2.1 Das visuelle System

Schlag u. a. [89] gehen von einem Anteil der visuellen Wahrnehmung beim Autofahren an der gesamten Informationsaufnahme von etwa 90 % aus. Daher wird das visuelle System des Menschen hier kurz vorgestellt. Das Licht, das von der Umgebung ausgestrahlt oder reflektiert wird,

trifft auf das Auge (Schema in Abb. 2.1). Hornhaut, Linse, Iris und Glaskörper bilden ein optisches System, das die einfallende Lichtverteilung auf der Netzhaut abbildet. Die Netzhaut, auch Retina genannt, besteht aus mehreren Zellschichten, deren äußerste die Rezeptoren sind: Stäbchen und Zapfen (siehe bspw. Schreuder [98]).

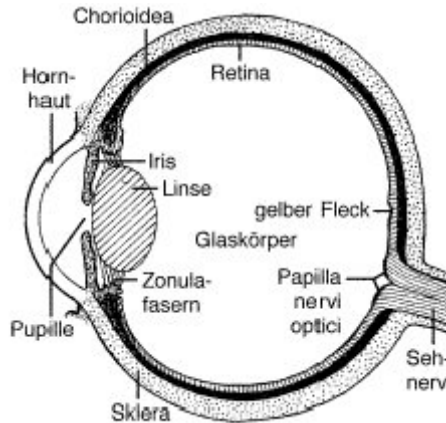


Abbildung 2.1.: Schematische Darstellung des menschlichen Auges [62].

Die Zapfen reagieren auf Licht der Wellenlängen zwischen ca. 380 nm (blau-violett) und ca. 780 nm (tiefrot), wobei drei Zapfenarten unterschieden werden, die entsprechend ihrer Empfindlichkeitskurven als L-, M- und S-Zapfen bezeichnet werden. L steht für lange (long), M für mittlere (medium) und S für kurze (short) Wellenlängen. Im Bereich von Adaptationsleuchtdichten größer 10cd/m^2 spricht man von Tagsehen, dem photopischen Sehen, im Bereich zwischen 10^{-6}cd/m^2 und 10^{-2}cd/m^2 von Nachtsehen oder skotopischem Sehen. Im photopischen Bereich sind nur die Zapfen aktiv, die Stäbchen im skotopischen Leuchtdichtebereich. In dem Bereich dazwischen sind beide Rezeptorarten beteiligt, man spricht vom Dämmerungssehen oder mesopischen Sehen [72].

Stäbchen und Zapfen sind auf der Retina nicht gleichmäßig verteilt. Die Netzhaut eines Auges enthält ca. 5 Mio. Zapfen, von denen ein Großteil in einem etwa 2° durchmessenden Kreis um die optische Achse im sogenannten Gelben Fleck angeordnet sind, sodass die Auflösung – ähnlich den Pixeln einer Kamera – dort am höchsten ist. Stäbchen befinden sich dort keine; erst in den äußeren Bereichen nimmt ihre Konzentration zu. Dies hat zur Folge, dass es im skotopischen Bereich nicht möglich ist, ein Objekt zu fokussieren – die Bildmitte bleibt immer unscharf. Die Verteilung der Stäbchen (ca. 120 Mio. pro Auge) am Rande des Sichtfeldes hat jedoch einen Vorteil: Diese Rezeptoren reagieren empfindlich auf Veränderungen, sodass Bewegungen im Umfeld schnell wahrgenommen werden können.

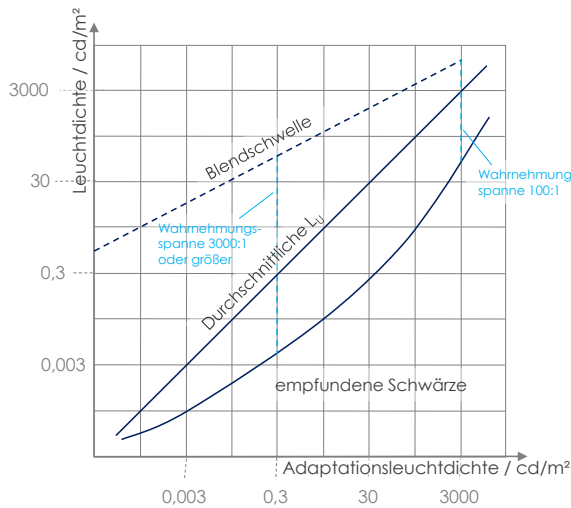
2.2.2 Blendung und Detektion

Bei der Detektion eines Objektes werden drei Stufen unterschieden: Sehen, Wahrnehmen, Erkennen. Im ersten Schritt wird die Lichtverteilung auf der Netzhaut abgebildet und weiterverarbeitet. Um einen Gegenstand als solchen wahrzunehmen, muss dieser in einem Kontrast zur Umgebung erscheinen. Zur Erkennung, um welchen Gegenstand es sich handelt, müssen weitere Details sichtbar sein, wie z.B. ein Kantenverlauf oder eine Struktur.

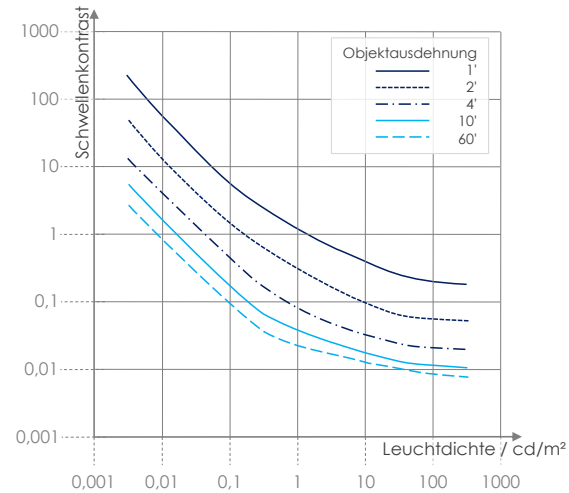
Adaptation und Kontrast

Obwohl Stäbchen und Zapfen in einem großen Leuchtdichtebereich arbeiten (ca. 10^{-6}cd/m^2 bis 10^5cd/m^2 [98]), wird doch niemals der gesamte Bereich gleichzeitig wahrgenommen (siehe z.B. Witting [123]). Vielmehr wird das visuelle System durch verschiedene Mechanismen auf die Umgebungsleuchtdichte eingestellt, was als Adaptation bezeichnet wird. Diese sind die Pupillenreaktion, bei der die Pupillenweite moduliert wird, die neuronale Adaptation, bei der bspw. die Zusammenschaltung von Rezeptorzellen zu sog. rezeptiven Feldern verändert wird, und die chemische Adaptation, bei der die Bereitstellung der Photopigmente in den Sehzellen angepasst wird.

Zur Wahrnehmung eines Objektes muss dieses nun eine Leuchtdichte aufweisen, die in einen bestimmten Maß über der Umgebungsleuchtdichte liegt, die sog. Schwellenleuchtdichte L' . Die-



(a)



(b)

Abbildung 2.2.: (a) Wahrnehmbarkeit von Objekten in Abhängigkeit ihrer Leuchtdichte und der Adaptationsleuchtdichte sowie (b) der Schwellenkontrast bezogen auf die Umgebungsleuchtdichte für verschiedene Objektgrößen (nach [98]).

se Differenz wird als Schwellenleuchtdichtedifferenz $\Delta L'$ bezeichnet. Abb. 2.2a zeigt den von der Adaptation abhängigen sichtbaren Leuchtdichtebereich. Man erkennt darin, dass die relative Breite des sichtbaren Bereichs mit steigender Adaptationsleuchtdichte sinkt.

Die Leuchtdichtedifferenz ΔL bezogen auf die Umgebungsleuchtdichte wird auch als Kontrast bezeichnet, wobei in den meisten Fällen der Weber-Kontrast verwendet wird (siehe z.B. [43]):

$$K = \frac{L_O - L_U}{L_U} = \frac{\Delta L}{L_U} \quad (2.1)$$

Dabei ist L_O die Objektleuchtdichte und L_U die Umgebungsleuchtdichte. Es wird entsprechend des Vorzeichens zwischen Positiv- und Negativ-Kontrast unterschieden, wobei bei einem hellen Objekt vor dunklem Hintergrund Positivkontrast vorliegt. Basierend auf der oben beschriebenen Schwellenleuchtdichte wird der Schwellenkontrast K' definiert, welcher für verschiedene Objektgrößen in Abb.2.2b gezeigt ist und wie folgt berechnet wird:

$$K' = \frac{\Delta L'}{L_U} \quad (2.2)$$

Der Schwellenkontrast sinkt mit steigender Umgebungsleuchtdichte, was bedeutet, dass der zur Detektion eines Objekts nötige Leuchtdichteunterschied geringer ist, je heller es in der Umgebung ist.

Blendung

Wenn eine im Umfeld vorhandene Leuchtdichte (oder auch die mittlere Umfeldleuchtdichte) über dem Adaptationsbereich liegt (siehe Abb. 2.2a), kommt es zu Blendung. Von den in Vos [118] beschriebenen acht Arten der Blendung sind im nächtlichen Straßenverkehr vor allem die folgenden von Bedeutung (siehe auch [124]): die physiologische und die psychologische

Blendung. Während des Fahrens bei tiefstehender Sonne kommt zusätzlich noch die (mitunter schmerzhaft) **Sättigungsblendung** vor, die auftritt, wenn ein Großteil des Sichtfelds eine sehr hohe Leuchtdichte aufweist und sich daraufhin die Iris stark zusammenzieht.

Die **physiologische Blendung** wird durch die Streuung des einfallenden Lichtes an Störstellen im Glaskörper, der Augenlinse und in der Hornhaut sowie an deren Grenzflächen hervorgerufen [118]. In diesem Fall wird das Licht auf der gesamten Netzhaut verteilt, was als heller Schleier wahrgenommen und als äquivalente Schleierleuchtdichte bezeichnet wird [45].

Nach CIE 146-2002 [23] gilt für die Schleierleuchtdichte für alle Winkel $0,1^\circ < \theta < 100^\circ$:

$$\frac{L_{s\ddot{a}q}}{E_B} = \frac{10}{\theta^3} + \left(\frac{5}{\theta^2} + \frac{0,1p}{\theta} \right) \cdot \left[1 + \frac{A^4}{62,5^4} \right] + 0,0025p \quad (2.3)$$

Dabei ist A das Alter in Jahren und E_B die Blendbeleuchtungsstärke. Der Pigmentierungsfaktor p schwankt zwischen 0 für sehr dunkle Augen und 1, 2 für sehr helle, blaue Augen. Zur Berechnung der Schleierleuchtdichte für kleine Winkel θ , unter denen die N Lichtquellen erscheinen, kann diese Berechnung dienen:

$$L_{s\ddot{a}q} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{10 \cdot E_i}{\theta_i^3} + \left(1 + \frac{A^4}{62,5^4} \right) \cdot 5 \frac{E_i}{\theta_i^2} \right) \quad (2.4)$$

Für Winkel zwischen 4° und 60° gilt die folgende Form [43, 53] in sehr guter Näherung [97]:

$$L_{s\ddot{a}q} = k \cdot E_B \cdot \theta^{-n} \quad (2.5)$$

Dabei ist k ein Faktor, der vom Alter des Beobachters abhängt und zwischen dem Wert 6,3 bei einem 20jährigen und dem Wert 17,8 bei einem 60jährigen Menschen schwankt. n ist ein Exponent, der abhängig vom Blendwinkel θ Werte zwischen 1,7 und 2,2 annimmt.

Durch die Schleierleuchtdichte steigt die wahrgenommene Umgebungsleuchtdichte, das Adaptationsniveau des Auges steigt und der Kontrast zu Objekten im Vordergrund sinkt – die Sehleistung sinkt, weshalb die physiologische Blendung im Englischen als *Disability Glare* bezeichnet wird. Wird der Schwellenkontrast unterschritten, können die vorher noch sichtbaren Objekte nicht mehr erkannt werden. Die Verringerung des Kontrasts kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$K_{Blend} = \frac{(L_O + L_{s\ddot{a}q}) - (L_U + L_{s\ddot{a}q})}{L_U + L_{s\ddot{a}q}} = \frac{L_O - L_U}{L_U + L_{s\ddot{a}q}} \quad (2.6)$$

Setzt man den hier berechneten K_{Blend} ins Verhältnis zum Kontrast ohne Blendung, so lässt sich die Schwellwerterhöhung ableiten [34]:

$$TI = \frac{L_{s\ddot{a}q}}{L_U^{0,8}} \cdot 65[\%] \quad (2.7)$$

Dabei bezeichnet TI (*Threshold Increment*) die Schwellwerterhöhung in Prozent, L_U die durchschnittliche Leuchtdichte auf der Fahrbahn und $L_{s\ddot{a}q}$ die äquivalente Schleierleuchtdichte (beide

in cd/m^2). Die Berechnung des TI-Werts wird in dieser Form auch in der DIN EN 13201-3 [29] empfohlen.

Werden die physiologischen Grenzen des Systems nicht überschritten, kann die Blendung dennoch als störend empfunden werden. Dann spricht man von **psychologischer Blendung**, welche beispielsweise auftritt, wenn Lichtquellen in der Umgebung unmittelbar in das Auge strahlen. Sie ist eine subjektive Empfindung und kann deshalb nur schwer quantifiziert werden. Auswirkungen dieser Blendungsart sind Unbehagen, erhöhte Beanspruchung bis hin zu Stress sowie Ermüdung, was der englische Name *Discomfort Glare* treffend bezeichnet. Für die psychologische Blendung wird meist die inverse deBoer-Skala verwendet, die in Tabelle 2.1 gezeigt ist. Bei Untersuchungsreihen werden die Probanden gebeten, die empfundene Blendung entsprechend dieser Skala zu bewerten [26].

Tabelle 2.1.: Inverse deBoer-Skala zur Bewertung der psychologischen Blendung.

Wert	Bewertung der Blendung
1	Gerade merklich
2	–
3	Zufriedenstellend / akzeptabel
4	–
5	Gerade akzeptabel
6	–
7	Störend
8	–
9	Unerträglich

Besonders bei vielen Blendquellen in einer Umgebung oder über einen längeren Zeitraum hinweg zeigen sich die oben beschriebenen Auswirkungen, obwohl durch die psychologische Blendung die Objektdetektion nicht verhindert wird.

Bindels und Schmidt-Clausen ermitteln in [93] die folgende Beschreibung für die physiologische Blendung, wobei W die Bewertung auf der deBoer-Skala ist:

$$W = 5 - 2 \log \frac{E_B}{3 \cdot 10^{-3} \left[1 + \sqrt{\frac{L_U}{4 \cdot 10^{-2}}} \right] \theta^{0,46}} \quad (2.8)$$

Dabei ist E_B die Blendbeleuchtungsstärke, L_U die Adaptationsleuchtdichte und θ der Blendwinkel.

2.2.3 Wahrnehmung und Aufmerksamkeit

Ist die Empfindung eines physikalischen Reizes nach den oben beschriebenen Prozessen möglich, so ist eine bewusste Wahrnehmung desselben nicht zwingend. Aus dem Umfeld strömt eine große Informationsmenge auf den Beobachter ein, welche nicht in ihrer Gesamtheit durch das menschliche Gehirn verarbeitet werden kann. Sowohl Aufnahme- als auch Verarbeitungskapazität sind begrenzt. Dies gilt für die visuelle Wahrnehmung ebenso wie für die übrigen Sinnesmodalitäten.

Klebsberg [56] schätzt die Zuflusskapazität an Informationen aus der Umgebung auf $10^9 - 10^{11}$ bit/s, wobei ein Bit einer Informationsmenge entspricht, die die Entscheidung zwischen zwei

gleich wahrscheinlichen Zuständen darstellt. Verarbeitet werden können jedoch davon nur etwa 16 bit/s.

Das Erkennen relevanter Objekte muss jedoch gewährleistet sein, weshalb sich das Gehirn verschiedener Auswahl- und Analysemechanismen bedient. Die für die visuelle Wahrnehmung wesentlichen Mechanismen werden hier vorgestellt. Besonders im Straßenumfeld, wo die Informationsmenge im visuellen Kanal äußerst hoch ist und relevante wie irrelevante Informationen ähnlich auffällig und ähnlich häufig vorkommen, sind diese von großer Bedeutung.

Aufmerksamkeit – Auffälligkeit

Als Aufmerksamkeit wird laut [106] „die Konzentration der menschlichen Anstrengung auf sensorische oder mentale Ereignisse“ verstanden. Sie ist das Werkzeug, das eine Auswahl relevanter Reize aus der Gesamtheit trifft und wird auch als das „Ergebnis eines informationsverarbeitenden Systems mit begrenzter Kapazität“ bezeichnet [13].

Die Entscheidung, wohin die Aufmerksamkeit gerichtet wird, kann durch Eigenschaften der Situation bzw. von Objekten in der Situation oder durch die Konzentration des Beobachters selbst beeinflusst werden.

Konkret bezogen auf die Situation des Autofahrens bedeutet dies, dass sich der Mensch am Steuer zunächst auf Informationen konzentriert, die für die Fahraufgabe wichtig erscheinen, wie z.B. der Straßenverlauf und andere Verkehrsteilnehmer. Dies wird als selektive Aufmerksamkeit bezeichnet, da relevante Einflüsse ausgewählt und erst dadurch bewusst wahrgenommen werden können.

Einige Mechanismen blenden Teile eines Szenarios aus oder nutzen sie, ohne dass sie ins Bewusstsein gelangen, für das Handeln aus. Bei hoch automatisierten Tätigkeiten, also Tätigkeiten, die erlernt und oft wiederholt wurden, wie das Autofahren auf gut bekannten Wegen, wird die Umgebung oft nicht bewusst wahrgenommen: Das Sehen ist vom Bewusstsein abgekoppelt.

Bei Sakkaden, also schnellen Augenbewegungen, wird die Wahrnehmungsschwelle heraufgesetzt, so dass während der Bewegung keine bewusste Wahrnehmung stattfindet (*sakkadische Suppression*). Sakkaden finden bei einem Wechsel der Blickrichtung statt, mit einer Winkelgeschwindigkeit von bis zu $900^\circ/s$ [57].

Ein weiterer im Straßenverkehr auftretender Fall des „Übersehens“ ist die Veränderungsblindheit (Change Blindness). Dabei werden Änderungen in ähnlichen Szenen nicht wahrgenommen, wobei Lebewesen eher wahrgenommen werden als unbelebte Objekte. Dieses Phänomen wird darauf zurückgeführt, dass das Gesehene mit bereits Bekanntem überlagert wird [95], beispielsweise also mit dem gespeicherten Bild der Szene.

Tritt ein Reiz ein, der außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus liegt, dessen Eigenschaften aber bestimmte Schwellen überschreiten, so wird die Aufmerksamkeit auf diesen Reiz gelenkt, was als Orientierungsreaktion bezeichnet wird. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Bewegung am Rande des Gesichtsfeldes handeln, deren Geschwindigkeit einen bestimmten Betrag überschreitet: Ein Tier, das am Straßenrand entlangläuft, könnte im Straßenverkehr einen solchen Reiz darstellen. Andere überschwellige Reize könnten z.B. eine hohe Leuchtdichte, Geräusche wie Hupen oder Sirenen sein. Auch Veränderungen der Leuchtdichte wie Blinken oder Änderungen der Farbe sind denkbare Auslöser. Die angeborene Orientierungsreaktion ist definiert als „ein Erregungsschub, der vom Hirnstamm aus zu gesteigerter Wachheit führt (Arousal) und zugleich die Sinne auf das Ereignis richtet“ [95].

Eigenschaften von Objekten, die Reizschwellen überschreiten und so zu Orientierungsreaktionen führen, werden als auffällig bezeichnet.

Mustererkennung in der visuellen Wahrnehmung

Auch bei der Bewertung eines Objektes bzw. der Identifikation seiner Eigenschaften werden Bewertungsmechanismen angewandt, um in kurzer Zeit eine Erkennung zu erreichen. Sie bewerten bestimmte Eigenschaften, die sogenannten Gestaltfaktoren, die das Gehirn dabei unterstützen, Reize zu sinnvollen Einheiten zu gruppieren [95]:

- Nähe: Erscheinungen, die einander nahe sind, werden zusammengefasst.
- Gleichartigkeit / Ähnlichkeit: Ähnliche Reize werden als zusammengehörig wahrgenommen.
- Gemeinsames Schicksal: Reize ähnlicher Ausrichtung oder Bewegungsrichtung werden zusammengefasst.
- Geschlossenheit: Eine geschlossene Kontur markiert eine Zusammengehörigkeit. Lücken in Konturen oder auch Unregelmäßigkeiten können jedoch vernachlässigt werden, wenn der folgende Gestaltfaktor vorhanden ist:
- Gesetz der guten Gestalt/Prägnanztendenz: Leicht fassbare Formen wie z.B. ein Kreis werden auch dann erkannt, wenn Teile überdeckt werden. Grundlage ist die Annahme, „dass komplexe Konturen regelmäßig durch Verdeckung entstehen“ [95].
- Durchgehende Kurve / Kontinuität
- Erfahrung: Erwartungen aus dem Erlernten, der Kultur und der aktuellen Situation werden kombiniert.

Die Eigenschaften der Objekte in einem Szenario, die zur Erkennung der Objekte und der Einschätzung des Szenarios herangezogen werden, sind neben der Objektkontur auch Farbe, Binnengliederung der Objekte, Schattierung, die Perspektive unter der sie erscheinen, verursacht durch Augenposition oder Bewegung, sowie die Bewegung der Objekte selbst.

Auch für bewegte Objekte sind Wahrnehmungsmuster bekannt (z.B. [95]):

- Entfernungseinschätzung: Sie wird aufgrund von Erfahrungswerten wie Gattung, Größe oder Identität durchgeführt.
- Charakteristische Bewegung: Alter, Geschlecht und weitere Eigenschaften eines Menschen können am Gehstil erkannt werden. Gleiches gilt für verschiedene Tierarten.
- Stroboskopische Bewegung: Bei sich bewegenden Objekten wird auch bei Verdeckung davon ausgegangen, dass die Bewegung unverändert fortgesetzt wird.

Position des Objekts im Raum und Objekteigenschaften werden in unterschiedlichen Gehirnregionen ausgewertet:

Die für die Objektposition wichtigen Bildeigenschaften werden über den dorsalen Pfad zu Scheitel- und Frontallappen (Abb. 2.3) weitergeleitet, wo die Lokalisierung im Raum geschieht. Diese Region zeichnet sich durch eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit bei einer hohen Kontrastsensibilität aus.

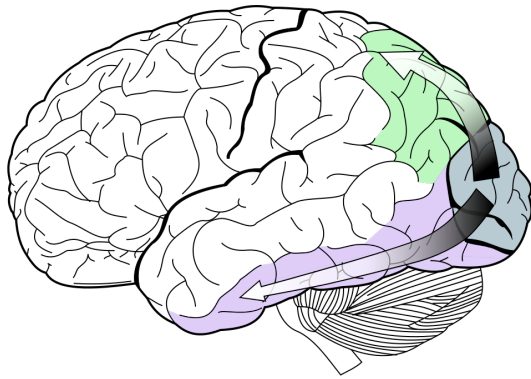


Abbildung 2.3.: Schema zur Objektwahrnehmung: ventraler (lila) und dorsaler Pfad (grün) [103].

Die Objekteigenschaften werden nach ihrer Weiterleitung über den ventralen Pfad in Bereichen des Temporallappens ausgewertet, die eine geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit und hohe Kontrastsensibilität bei hoher Auflösung aufweisen. Hier finden das Erkennen und Benennen von Objekten und Gesichtern statt [95, 68]. Daneben existieren auch Wechselwirkungen zwischen den beiden Pfaden, und die gesehenen Informationen werden noch an weitere Hirnregionen weitergeleitet.

Objekteigenschaften können einerseits dann wahrgenommen werden, wenn die Aufmerksamkeit bereits auf das Objekt gerichtet wurde, oder sie können dazu beitragen, dass das Objekt eine hohe Auffälligkeit besitzt und deshalb erst in den Fokus rückt. Auch einige Lichterscheinungen sind auffällig, z.B. Glanz, also ein hoher Anteil gerichteter Reflexion, oder ein Glitzern oder Flackern, das mit einer Dynamik verbunden ist und so eine Orientierungsreaktion verursacht.

2.3 Verhalten im Straßenverkehr

Die grundlegende Motivation der Autofahrt ist der Transport von Menschen oder Dingen vom Ausgangsort zum Zielort. Dabei werden dem sicheren und dem schnellen Ankommen individuell verschiedene Prioritäten zugeordnet.

Im Bericht CIE 137-2000 [22], der sich mit der Auffälligkeit von Verkehrszeichen vor einem komplexen Hintergrund befasst, wird zunächst auf die Fahraufgabe eingegangen, die für sich selbst einen komplexen Vorgang darstellt. McKnight und Adam [66] identifizierten bereits 1970 65 Hauptaufgaben und über 1700 Unteraufgaben.

Die Aufgaben beim Autofahren können in die folgenden Kategorien unterteilt werden: Fahrzeugkontrolle, Beurteilung der Fahrsituation und Erkennung relevanter visueller Objekte, Navigation [2]. Aus diesen Kategorien lassen sich notwendige Verhaltensweisen von Verkehrsteilnehmern ableiten. Die *Navigation* dient der Wegfindung und ist hier insofern wichtig, als dass sie Objekten, die der Orientierung dienen, Relevanz verleiht. Dies sind beispielsweise Wegweiser oder markante Wegpunkte. Außerdem beinhaltet die Navigationsaufgabe die Auswahl der Strecke und damit u.a. die Benutzung bestimmter Straßenklassen oder die Durchführung von Abbiegemanövern.

Die *Kontrolle des Fahrzeuges* wird hier nicht en détail betrachtet, da sie nicht das Straßenumfeld berührt. Lediglich die Anpassung der Geschwindigkeit durch den Fahrer oder die Fahrerin ist für die Bewertung der Komplexität von Bedeutung.

Die *Beurteilung der Fahrsituation und Erkennung relevanter visueller Objekte* ist eine äußerst umfangreiche Kategorie. Sie beinhaltet die visuelle Wahrnehmung und Erkennung der Umgebung, wie sie in Abschnitt 2.2.3 beschrieben wird. Zusätzlich setzt sie Erfahrung voraus, um das Wahrgenommene im Kontext der Fahraufgabe beurteilen zu können.

In [122] werden die o.g. drei Kategorien weiter aufgeteilt und zugeordnet. Zunächst wird das Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen von 1983 vorgestellt ([79] zitiert in [122]): Dieses Modell, das aus der Ingenieurpsychologie stammt, dient zur Unterteilung zielgerichteter menschlicher

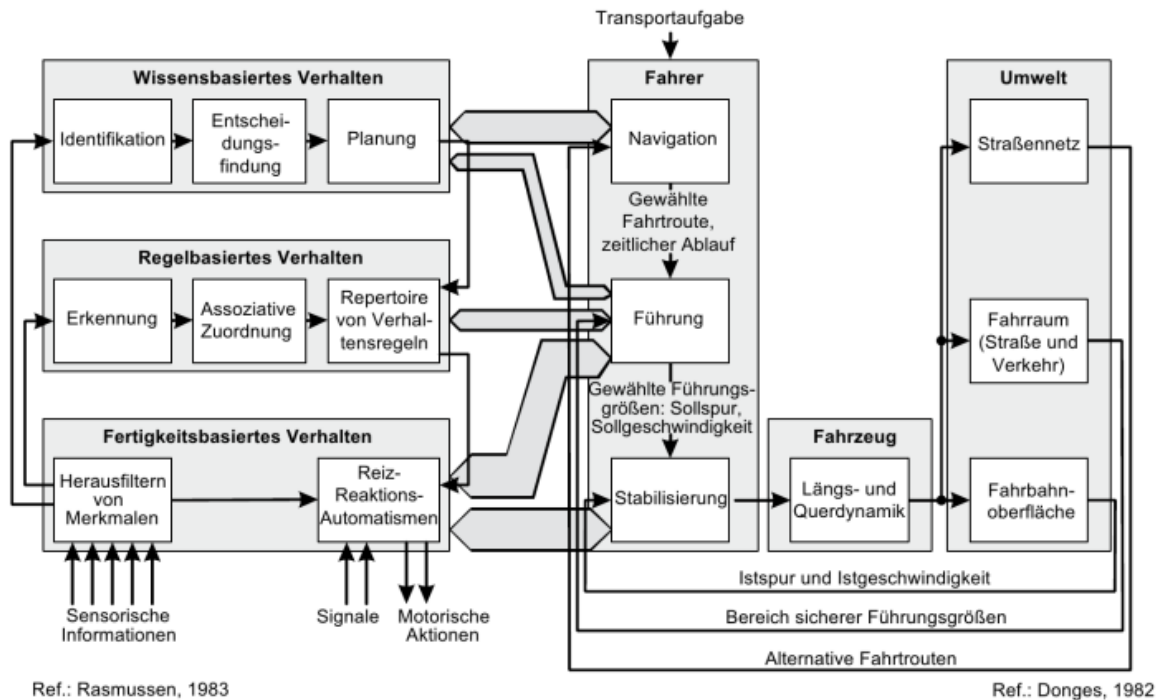


Abbildung 2.4.: Modell für das Fahrerverhalten nach Rasmussen und Donges aus Winner u. a. [122].

Tätigkeiten je nach kognitiver Beanspruchung, wobei zwischen alltäglichen Routinesituationen, unerwarteten Herausforderungen und seltenen kritischen Störfällen unterschieden wird. Die Verkehrsteilnehmer passen den Anforderungen entsprechend ihr Verhalten an. Bei kritischen bzw. unerwarteten Ereignissen, die bisher noch nicht erlernte Reaktionen erfordern, wird von *wissensbasiertem Verhalten* (knowledge-based behaviour) gesprochen. Dabei wird auf abgespeichertes Wissen zurückgegriffen und aus diesem die am besten geeignete Handlungsweise abgeleitet. Wenn eine weniger anspruchsvolle Situation eintritt, greift das *regelbasierte Verhalten* (rule-based behaviour). Dabei wurde die vorliegende Situation bereits einige Male durchlebt und es liegen Erfahrungswerte vor, aus denen nun die beste Alternative ausgewählt wird. Bei alltäglichen Routinesituationen wurde die Situation bereits so oft erlebt, dass die geeigneten Handlungen teilweise automatisch und ohne bewusste Kontrolle ablaufen. Dieses wird als *fertigkeitsbasiertes Verhalten* (skill-based behaviour) bezeichnet und ist zeitlich am effektivsten. Das Drei-Ebenen-Modell nach Rasmussen ist in Abb. 2.4 auf der linken Seite zu sehen [122].

Es wird kombiniert mit der Drei-Ebenen-Hierarchie nach Donges von 1982 [31], welches die Transportaufgabe als Eingangsgröße setzt, die über das Fahrzeugverhalten mit der Verkehrsumgebung (Umwelt) in Wechselwirkung tritt. Transportaufgabe und Verkehrsumgebung sind hierarchisch analog zueinander gegliedert: Die Navigationsaufgabe bestimmt die Orientierung im Straßennetz, die Fahrzeugführung die Bewegung im Fahrraum und die Stabilisierung betrifft direkt die Bewegung auf der Trasse. Im Unterschied zur Aufgabengliederung nach Allen u. a. [2] wird hier die reine Reaktion auf die Umwelt um eine Rückkopplung erweitert. Das Verhalten des Fahrers bzw. der Fahrerin wirkt sich auf die Position im Straßennetz, die Verkehrssituation und die Lage des Fahrzeugs auf der Straße aus und generiert so neue sensorische Informationen. Auf diese Weise entsteht ein Regelkreis zwischen Fahrzeugführer / -führerin und dem Verkehrsraum.

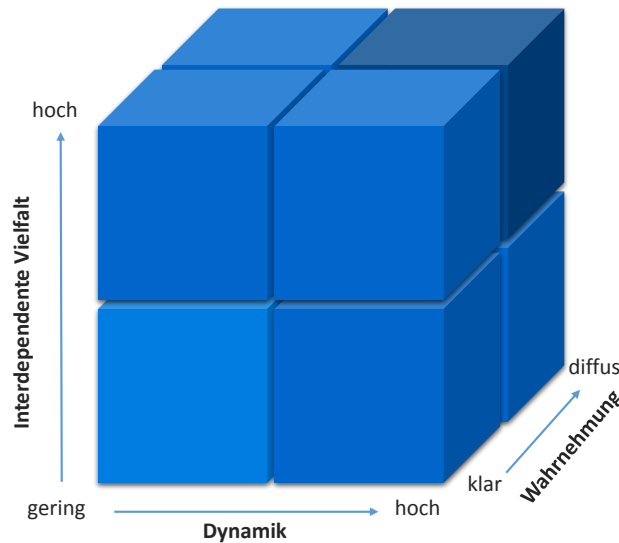


Abbildung 2.5.: Komplexitätskubus nach [99].

Ergebnisse neuerer Studien zum Fahrerverhalten werden in Abschnitt 3.1 vorgestellt. Dort wird auch auf einzelne Einflussgrößen, die das Verhalten beeinflussen, näher eingegangen.

Klebelsberg [56] weist darauf hin, dass Versuchsreihen, in denen nur eine Variable betrachtet wird, dem umfangreichen Verkehrssystem nur schwer gerecht werden können. Allerdings ist die umfassende Untersuchung vieler Systemkomponenten aufgrund der Systemgröße „aus ökonomischen Gründen nicht möglich“.

2.4 Komplexität

Nach [99] beschreibt Komplexität eine Eigenschaft des Systems, das betrachtet wird. Im vorliegenden Fall handelt es sich um das Umfeld des Autofahrenden: die Umgebung, das Straßenumfeld, den stattfindenden Verkehr sowie die unmittelbare Umgebung im Fahrzeug und die Fahraufgabe. Die Komplexität hängt „von der Anzahl der Systemelemente, von der Vielzahl der Beziehungen zwischen diesen Elementen sowie der Anzahl möglicher Systemzustände“ ab ([114] zitiert in [99]). Außerdem spielt es eine große Rolle, wie die Komplexität durch den Beobachter wahrgenommen wird.

[65] (ebenfalls zitiert in [99]) setzt hinzu, dass „in einer Zeitspanne eine große Anzahl von verschiedenen, ja sogar ungeheuer vielen Zuständen“ angenommen werden kann, was das „Verstehen und die Beherrschbarkeit“ des Systems erschwert.

[99] leitet daraus drei Dimensionen, oder „wesentliche Treiber“, der Komplexität ab, basierend auf Anzahl und Arten von Systemzuständen: „die interdependente Vielfalt, verunsichernde Dynamik und Wahrnehmung“. Diese Eigenschaften werden als „Komplexitätskubus“ [99] in Abbildung 2.5 veranschaulicht.

Bezogen auf die Verkehrssituation lassen sich die drei Dimensionen so auffassen:

Die interdependente Vielfalt, also die Anzahl und Art der Zustände sowie deren Wechselwirkungen, beschreibt die Systemkomponenten und deren Zustände. Hauptkomponenten sind Umwelteinflüsse wie Wetter, Beleuchtung, Bepflanzung, Einflüsse aus dem Verkehrsumfeld, bspw. Lichtsignalanlagen (LSA) oder andere Verkehrsteilnehmer, und außerdem das Fahrzeug des Autofahrenden und er oder sie selbst.

Die Dynamik beschreibt die Veränderung der Zustände der Systemkomponenten. Die Beziehungen zwischen diesen bewirken, dass durch die Änderung einer Komponente auch der Zustand anderer Komponenten verändert wird. Beispielsweise hat das Umschalten einer LSA von Rot auf Grün eine Wirkung auf ein ganzes Kollektiv von Verkehrsteilnehmern. In [99] wird der Dynamik eine Verunsicherung des Systembeobachters zugeschrieben. Dies wird aus der Vielzahl von Systemkomponenten, deren möglichen Zuständen und vor allem deren Wechselwirkungen abgeleitet. Der Beobachter kann das System in seiner Komplexität nicht vollumfänglich erfassen und daher die Auswirkungen der Dynamik nicht analytisch bestimmen.

Der Begriff der Wahrnehmung wird von [99] im Sinne der Interpretation gebraucht. Er bezeichnet also den Prozess, der nach dem Erkennen bestimmter Systemeigenschaften im Gehirn abläuft, nämlich das Einordnen in einen Kontext und das Einleiten einer Reaktion darauf. Diese erfolgt durch die in Abbildung 2.4 dargestellten Verhaltensweisen und ist damit von den individuellen Eigenschaften des Verkehrsteilnehmers abhängig: der Wahrnehmungskapazität, der persönlichen Erfahrung, des momentanen körperlichen und geistigen Zustandes u.a. Konkret bedeutet dies, dass eine Fahr- bzw. Verkehrssituation von jeder Person unterschiedlich wahrgenommen werden kann, so kann eine Fahrt auf einer kurvigen Landstraße als überfordernd oder als anregend empfunden werden.

2.5 Stress

2.5.1 Psychologische Grundlagen

Komplexe Situationen im Straßenverkehr können Stress hervorrufen. Der Begriff Stress im Sinne einer Reaktion auf Alarmsituationen wurde erstmals 1914 durch Cannon eingeführt [14], wobei dieser Untersuchungen an Soldaten während des ersten Weltkrieges durchführte und zu dem Schluss kam, dass die psychische und die physiologische Reaktion des Menschen auf Stress unabhängig voneinander sind. Der Stressforscher Hans Selye machte den Begriff Stress jedoch erst populär. Nach [104] bezeichnet er, von Selye aus der Physik entlehnt und als Belastungszustand aufgefasst, die „unspezifische Abweichung vom normalen Ruhezustand“ [105]. Die Reaktion, die bei der betroffenen Person durch länger anhaltende Stressreize (Stressoren) ausgelöst wird, wird durch Selye als „allgemeines Adaptationssyndrom“ bezeichnet. Sie läuft in drei Phasen ab: Alarm, Widerstand und Erschöpfung. Die Alarmreaktion ist die unmittelbare Reaktion auf den Stressor bzw. die Stressoren, die den Körper kurzfristig in erhöhte Leistungsbereitschaft versetzt (siehe Abschnitt 2.5.2). Im Widerstandsstadium versucht der Körper, den Normalzustand wiederherzustellen, also die Stressoren zu beseitigen. In der Erschöpfungsphase, die eintritt, wenn der Belastungszustand über längere Zeit besteht, sind die Ressourcen des Körpers aufgebraucht und es kommt zu gesundheitlichen Schäden.

Im Sinne der kognitiven Psychologie wurde Stress durch Lazarus [61] neu bewertet: Basierend auf der individuellen kognitiven Verarbeitung werden Stressoren bewertet. Lazarus teilt die Stressreize außerdem nach Schweregrad ein: katastrophale Stressoren, persönliche Stressoren (life events) und Hintergrund-Stressoren (daily hassles). Auf die Wahrnehmung der Reize folgt die Einschätzung (appraisal) in zwei Phasen:

- Primary appraisal – Situationsbewertung
- Secondary appraisal – Bewertung, ob die Situation mit den vorhandenen Ressourcen bewältigt werden kann

Reichen die vorhandenen Fähigkeiten bzw. Kapazitäten nicht aus, um mit der Situation angemessen umzugehen (coping), bewirkt das hohen Stress. In diesem Fall spricht man von Disstress oder Hyperstress (negativ empfundener Stress). Eine Belastung, die gut bewältigt werden kann, wird als Eustress (positiv empfundener Stress) bezeichnet.

Dies steht in Analogie zum Flow-Schema nach Csíkszentmihályi sowie Ellis und Voelkl [25, 115]. Bei der Durchführung einer Aufgabe gibt es verschiedene Zustände geistiger Herausforderung: Langeweile, „Flow“ und Angst. Im sogenannten „Flow“ halten sich Herausforderung und eigene Fähigkeiten die Waage und eine konzentrierte und effektive Bearbeitung ist möglich, was den Bearbeitenden in eine positive Gefühlslage versetzt. Um auf einen Anstieg der eigenen Fähigkeiten zu reagieren, wird die Aufgabe hinsichtlich ihres Anspruches angepasst, um den Flow-Zustand zu erhalten (und umgekehrt).

2.5.2 Physiologische Grundlagen

Der Körper reagiert in Stresssituationen mit einer sogenannten *Fight-or-Flight*-, also Kampf-oder-Flucht-Reaktion. Dabei werden Adrenalin und Noradrenalin ausgeschüttet, was verschiedene physiologische Auswirkungen hat (Beispiele siehe Tabelle 2.2) und insgesamt eine Steigerung der kurzfristigen Leistungsfähigkeit bewirkt. Diese Reaktionen werden zum großen Teil durch das sympathische Nervensystem gesteuert, das Teil des autonomen Nervensystems (auch vegetatives Nervensystem genannt) ist [40].

Tabelle 2.2.: Auszug aus den Auswirkungen von Adrenalin und Noradrenalin aus [40].

	Noradrenalin	Adrenalin
Blutgefäße		
Herz	Erweiterung	Erweiterung
Haut und Schleimhäute	Konstriktion	
Gehirn	geringe Konstriktion	geringe Erweiterung
Herzmuskelerregung	Anstieg	Anstieg
Blutdruck		
Systolisch	Anstieg	Anstieg
Diastolisch	Anstieg	Senkung
Pulsfrequenz	Senkung (Reflex-Bradykardie ¹)	Anstieg
Stoffwechsel		
Sauerstoffverbrauch	geringer Anstieg	Anstieg
Blutzucker	geringer Anstieg	Anstieg
Subjektive Wahrnehmungen	Gefühl leichter Erregung	Gefühl der Erregung

¹ Die Verlangsamung des Herzschlags wird als Bradykardie bezeichnet. Das Gegenteil, die Beschleunigung des Herzschlags, ist die Tachykardie.

Systolischer bzw. diastolischer Blutdruck bezeichnen Druckmaximum bzw. -minimum im arteriellen System.

Auch die Schweißdrüsenaktivität auf Handflächen und Fußsohlen wird durch das autonome Nervensystem gesteuert. Sie wird durch den Sympathikus angeregt, eine „untergeordnete parasympathische Beteiligung lässt sich nicht völlig ausschließen“ [40]. Auch die frontotemporale Region des Kortex, die wichtig für motivationale Prozesse ist, ist bei der Steuerung der Schweißdrüsenaktivität involviert.

2.6 Physiologisches Feedback

Die in Abschnitt 2.5.2 beschriebenen physiologischen Auswirkungen von Stress lassen sich physikalisch am Körper messen.

2.6.1 Heart Rate

Das Herz eines Erwachsenen schlägt im Durchschnitt 70 mal pro Minute und befördert in dieser Zeit etwa 5 Liter Blut. Die Herzfrequenz (HF), auch Herzrate (HR) genannt, die in Schlägen pro Minute gemessen wird, wird aus dem Signal des Elektrokardiogramms berechnet (EKG, in der Einheit mV), wobei das sogenannte RR-Intervall (engl. interbeat interval) (IBI) [40] zwischen aufeinanderfolgenden R-Wellen ermittelt wird. R-Wellen sind Teil der QRS-Gruppe, die den Erregungsverlauf der Muskulatur der Ventrikel (Herzkammern) zeigen. Durch die hohe Amplitude dieser Wellen können sie zuverlässig identifiziert werden und sind daher für eine automatische Berechnung der Herzfrequenz gut geeignet.

Eine kurzzeitige (phasische) Beschleunigung der HF deutet auf eine Verteidigungsreaktion hin (Stress, "fight or flight"-Reaktion). Diese beginnt 0.5 bis 3 Sekunden nach dem Einsetzen des Reizes und erreicht ein Maximum nach 5 bis 10 Sekunden. Es kann bis zu 15 Sekunden dauern, bis die Reaktion wieder abflacht. Eine Verlangsamung der HF deutet auf eine Orientierungsreaktion hin. Die Latenz beträgt 0.5 bis 2 Sekunden nach Reizeinsatz; das Maximum wird nach 2 bis 7 Sekunden durchlaufen.

Gesunde Menschen weisen eine natürliche Herzratenvariabilität auf, bei der die Herzfrequenz zwischenzeitlich – für wenige Schläge – stark schwanken kann. Daher ist es anspruchsvoll, die Herzfrequenz auszuwerten; eine automatische Auswertung muss die Werte über einen gewissen Zeitraum mitteln.

2.6.2 Hautleitfähigkeit

Die Hautleitfähigkeit ist die elektrische Leitfähigkeit der Haut und wird auch als elektrodermale Aktivität (EDA) bezeichnet. Es wird angenommen, dass sie durch die Menge der (leitenden) Flüssigkeit in den Schweißdrüsen der Haut verursacht wird [40]. Die Schweißdrüsen der Handflächen und der Fußsohlen reagieren auf psychischen Stress, im Gegensatz zu denen im Rest des Körpers, die auf physische Aktivität reagieren. Wie das EKG zeigt auch die EDA phasische (kurzzeitige) und tonische (länger andauernde) Veränderungen, die eine direkte Reaktion auf den Reiz (Stress-Reaktion) bzw. das längerfristige Aufmerksamkeitsniveau (Orientierungsreaktion) anzeigen. Eine Orientierungsreaktion kann auch auf eine gesteigerte Wachsamkeit hindeuten, die, sollte sie längere Zeit andauern, ebenfalls eine Belastung darstellt.

Die Latenz der phasischen Reaktion beträgt 1 bis 3 Sekunden, der maximale Ausschlag ist nach 0.5 bis 3.5 Sekunden danach erreicht. Die Abklingzeit danach beträgt zwischen 1 und 10 Sekunden. Wie bei der HF können spontane Fluktuationen auftreten.

2.6.3 Augenbewegungen

Die Intensität der Augenbewegungen kann über ein sogenanntes Elektro-Okulogramm (EOG) ermittelt werden. Grundlage dieser Messung ist die Potentialdifferenz, die zwischen Hornhaut und Netzhaut des Auges besteht und die bis zu 1 mV beträgt. Bei Augenbewegungen können an in Augennähe angebrachten Elektroden Potentialverschiebungen von etwa 10 bis 40 μV

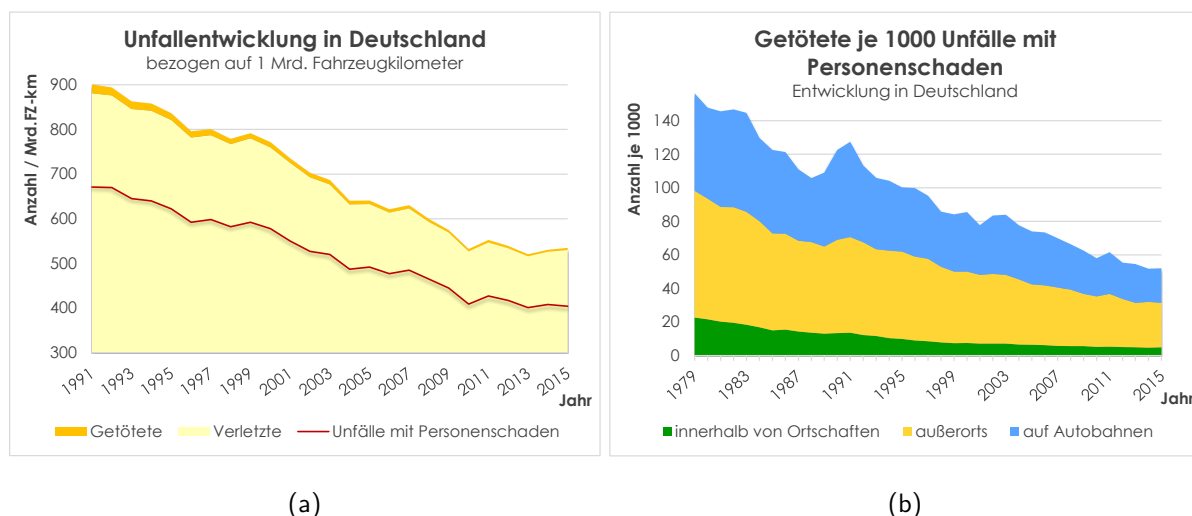


Abbildung 2.6.: (a) Zeitliche Entwicklung der Unfälle in Deutschland je eine Milliarde Fahrzeugkilometer. (b) Zeitliche Entwicklung der Anzahl der bei Verkehrsunfällen Getöteten, dargestellt je 1000 Unfälle und aufgeschlüsselt nach Ortslage.

gemessen werden. Für vertikale Bewegungen werden die Elektroden über und unter einem Auge angebracht, für die Messung horizontaler Bewegungen an der rechten und linken Schläfe.

2.7 Verkehrsunfälle – Statistik und Ursachen

Grundsätzlich nimmt die Zahl der Unfälle in Deutschland ab, was sehr deutlich wird, wenn man die Entwicklung auf die Fahrleistung bezieht, wie in Abb. 2.6a dargestellt.

Seit 2014 steigt die Zahl der Unfälle jedoch wieder leicht an. Im Jahr 2014 ereigneten sich in Deutschland 2.406.685 polizeilich erfasste Unfälle, davon 302.435 mit Personenschaden, wobei 3.377 Personen getötet, 67.732 schwer verletzt und 321.803 leicht verletzt wurden [107]. Im Jahr 2015 waren es insgesamt 2.516.831 Unfälle; bei den 305.659 Unfällen mit Personenschaden wurden 3.459 Personen getötet, 67.706 schwer und 325.726 leicht verletzt.

Bezogen auf die Fahrleistung hat die Anzahl der Unfälle im Jahr 2015 wieder leicht abgenommen: 2014 waren es 408 Unfälle, 2015 404 Unfälle je eine Milliarde Fahrzeugkilometer. Die Anzahl der Getöteten ist seit 2013 konstant bei 4,6 Personen je 1 Mrd. FZ-km, während die Anzahl der Verletzten in dieser Zeit von 516 auf 530 je 1 Mrd. FZ-km gestiegen ist. Alle Daten zu Unfällen in Deutschland im Jahr 2014 stammen aus [107], für das Jahr 2015 aus [109]. Abb. 2.7 rechts oben zeigt die Verteilung der Unfälle nach Ortslage. Ein Großteil der Unfälle (ca. 69,3%) findet innerhalb geschlossener Ortschaften statt, 24,4% der Unfälle passie-

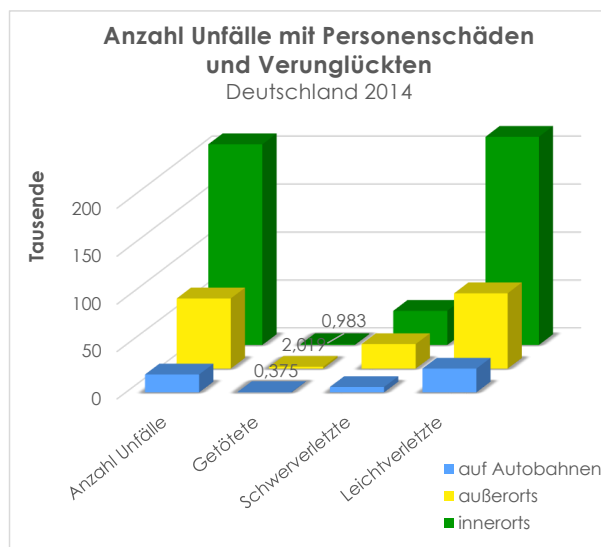


Abbildung 2.7.: Anzahl der Unfälle und Geschädigten nach Ortslage im Jahr 2014 in Deutschland.

ren außerorts im Basisnetz und etwa 6,3% auf Autobahnen. Die Zahl der Getöteten ist mit 2019 (ca. 60% aller Getöteten) allerdings außerorts im Basisnetz am größten. Auch der Anteil der Schwerverletzten ist mit ca. 38% außerorts im Basisnetz überproportional hoch.

Innerhalb von Ortschaften wurden 2014 in Deutschland 983 Menschen durch Verkehrsunfälle getötet. Die häufigsten Unfallursachen waren der Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger (347 Getötete) und der Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbog oder kreuzte (216 Getötete). Außerorts (ohne Autobahnen) wurden 2019 Menschen getötet, 654 davon bei Zusammenstößen mit entgegenkommenden Fahrzeugen, 430 beim Abkommen des Fahrzeuges nach rechts von der Fahrbahn und 314 beim Zusammenstoß mit einem einbiegenden oder kreuzenden Fahrzeug. Die meisten Unfälle geschehen an Einmündungen bzw. Kreuzungen und in Kurven. Auf Autobahnen starben 375 Menschen bei Unfällen, 132 davon beim Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das vorausfuhr oder wartete sowie 112 davon durch das Abkommen von der Fahrbahn nach rechts oder links. Hier geschieht ein Großteil der Unfälle in Kurven, bei Steigung oder Gefälle sowie in Baustellen. Auch wenn die Zahl der Verunglückten pro 1000 Unfälle mit Personenschaden in etwa gleich bleibt (betrachteter Zeitraum 1979 bis 2015), sinkt die Anzahl der Getöteten seit 1991 stark (Abb. 2.6b). Der Anteil der Unfälle mit Per-

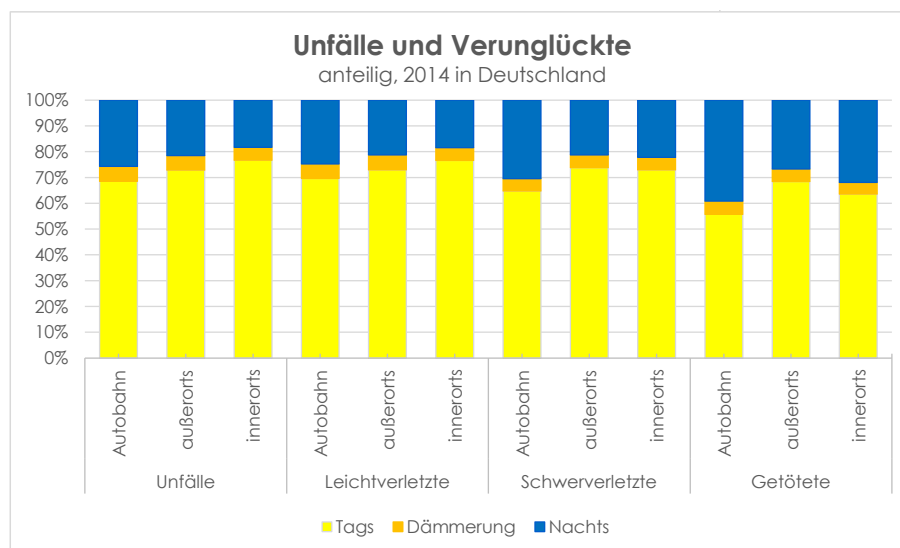
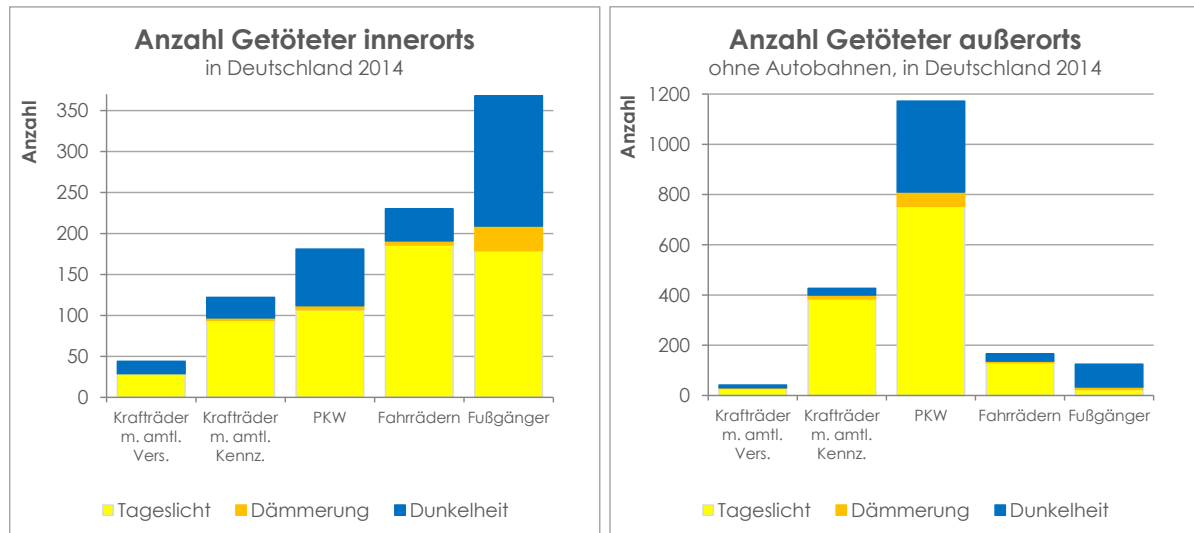


Abbildung 2.8.: Anteilige Unfallverteilung und Verunglückte nach Lichtverhältnissen in Deutschland im Jahr 2014.

sonenschaden bei Dunkelheit bzw. Dämmerung beträgt 20 Prozent bzw. 5 Prozent (Deutschland 2014, [107]). Auf Autobahnen geschahen 26% der Unfälle mit Personenschaden bei Dunkelheit, 6% in der Dämmerung, außerorts waren es 22% bzw. 6% und innerorts 18% bzw. 5% (Abb. 2.8). Der Anteil der bei Dunkelheitsunfällen Getöteten liegt mit 39% auf Autobahnen, 27% außerorts und 32% innerorts in allen Ortslagen überproportional hoch. Bei den Verletzten zeigt sich eine hohe Rate (30%) bei Dunkelheitsunfällen auf Autobahnen.

Abbildung 2.9 zeigt, dass neben PKW-Fahrern der Anteil bei Dunkelheitsunfällen getöteter Radfahrer und Fußgänger im Basisnetz sehr hoch ist. Außerhalb von Ortschaften wurden im Basisnetz sogar ca. 81 % der getöteten Fußgänger bei Dunkelheit oder in der Dämmerung getötet.

Die Datengrundlage für die deutschlandweite Statistik liegt nicht vor, jedoch sind die Rohdaten der Unfälle auf Hessens Straßen vollständig verfügbar (Quelle: UNFAS – Polizeiliche Unfalldatenbank Hessen, Zugriff 27.06.2016). In Hessen ereigneten sich 2015 auf Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen (innerorts und außerorts) insgesamt 134.790 polizeilich erfasste Un-



(a)

(b)

Abbildung 2.9.: Unfallverteilung nach Lichtverhältnissen und Art der Verkehrsteilnehmer in Deutschland (a) innerorts und (b) außerorts.

fälle, davon 15.818 (ca. 11,7%) auf Autobahnen (nur außerorts), 33.286 (ca. 24,7%) außerorts im Basisnetz sowie 85.685 (ca. 63,6%) im Basisnetz innerorts. Dabei wurden insgesamt 242 Personen getötet, 4680 Personen schwer und 23156 Personen leicht verletzt. Die Verteilung dieser Unfälle und ihrer Folgen, bezogen auf die Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt, sind in Abbildung 2.10 dargestellt.

Betrachtet man die Verteilung der Unfälle örtlich getrennt, wird deutlich, dass im Basisnetz außerorts der größte Teil der Unfälle bei Dunkelheit (48,7%) oder in der Dämmerung (10,5%) stattfindet. Im direkten Vergleich dazu verursachen diese Unfälle einen unterproportionalen Anteil an Getöteten (28,9% + 7,4%) und Verletzten (in Summe 27,5% bzw. 30,8%). Überproportional viele Getötete bei Dunkelheit werden durch Unfälle auf Autobahnen (45,9%) und innerorts (28,6%) verursacht. Gleiches gilt für Unfälle außerorts bei Tag (63,8%).

Die hessischen Unfalldaten wurden für das Jahr 2015 nach der „Allgemeinen Unfallursache“ ausgewertet, welche nicht fahrerbezogene Ursachen wie Wetter, Straßenzustand, Lichtverhältnisse oder Wild umfasst. Von den insgesamt 134.790 Unfällen fanden 67,49% tagsüber statt, 6,01% bei Dämmerung und 26,49% in der Nacht. Die häufigste allgemeine Unfallursache ist Wild auf der Fahrbahn, was bei 14,10% aller Unfälle insgesamt der Fall war. Auf die Lichtverhältnisse bezogen entspricht dies 3,08% aller Tagunfälle, 33,64% der Unfälle bei Dämmerung und 37,75% der Nachtunfälle. Weitere allgemeine Ursachen sind auszugsweise in Abb. 2.11 dargestellt. Neben Wild auf der Fahrbahn sind vor allem Wetterverhältnisse in der Dämmerung überproportional oft die Ursache von Unfällen. In der Nacht ist ebenfalls das Wetter häufig der Grund, allen voran Nebel und Schnee / Eis sowie Starkregen. Bei 79,93 % der Unfälle (tags: 91,19 %; Dämmerung: 60,20 %; nachts: 55,75 %) gab es ausschließlich personenbezogene Ursachen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Die häufigsten personenbezogenen Ursachen sind diese: „Andere Fehler beim Fahrzeugführer“ mit 28,65%, „Ungenügender Sicherheitsabstand“ mit 12,06%, „Fehler beim Wenden oder Rückwärtsfahren“ mit 10,50%, „Geschw. - in anderen Fällen“ mit 5,58%, „Fehlerhaftes Wechseln des Fahrstreifens beim Nebeneinanderfahren oder Nichtbeachten des Reißverschlussverfahrens

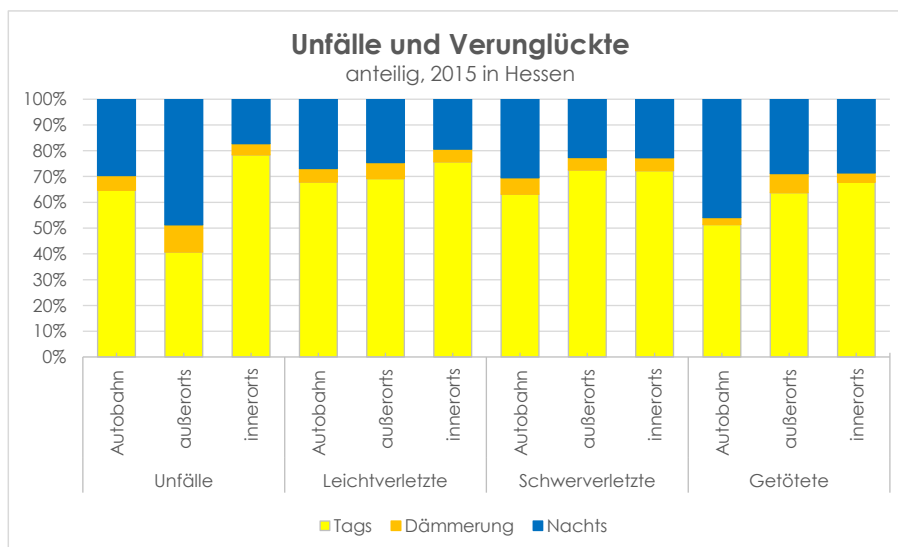


Abbildung 2.10.: Anteilige Unfallverteilung und Verunglückte nach Lichtverhältnissen in Hessen im Jahr 2015. (Datenquelle: Polizeiliche Unfalldatenbank UNFAS).

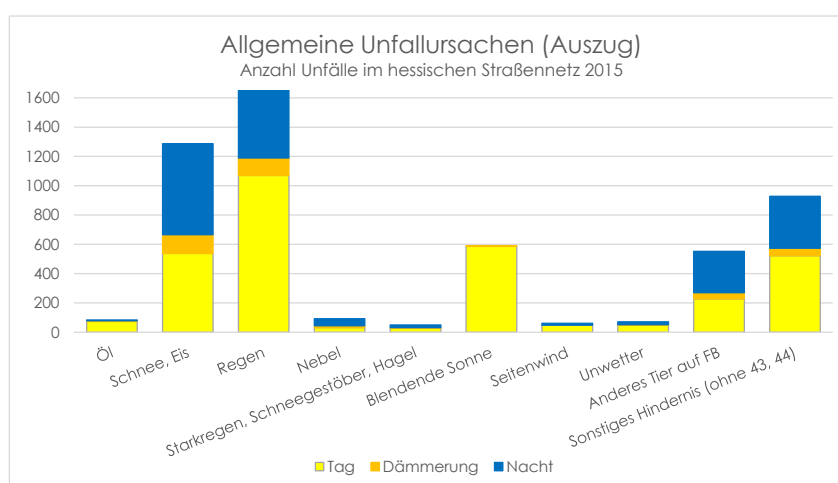


Abbildung 2.11.: Allgemeine Unfallursachen 2015 in Hessen (Auszug). Dargestellt ist die Anzahl der Unfälle mit Ursachen, gruppiert nach Lichtverhältnissen (Quelle: UNFAS – Polizeiliche Unfalldatenbank Hessen, Zugriff 27.06.2016)

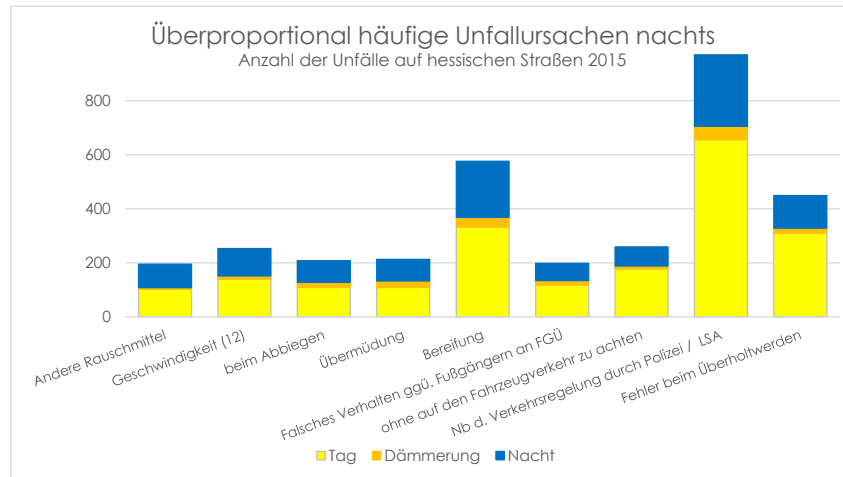


Abbildung 2.12.: Häufige Unfallursachen 2015 in Hessen (Auszug), welche nachts überproportional oft auftreten. Dargestellt ist die Anzahl der Unfälle mit Ursachen, gruppiert nach Lichtverhältnissen (Quelle: UNFAS – Polizeiliche Unfalldatenbank Hessen, Zugriff 27.06.2016)

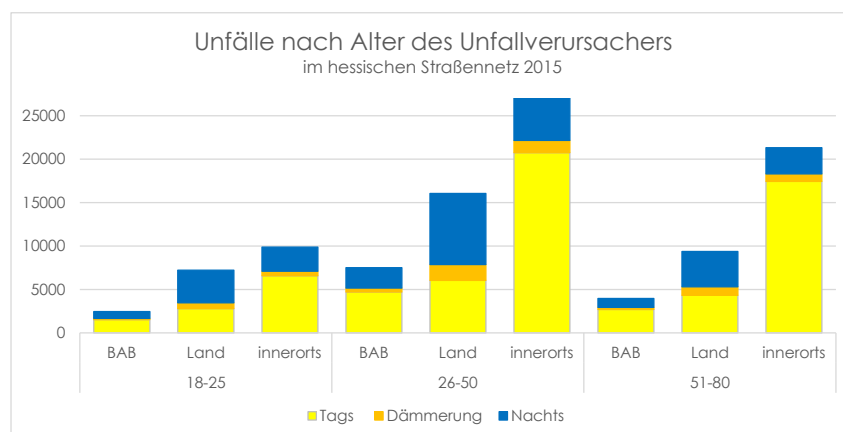


Abbildung 2.13.: Unfallverteilung nach Alter des Verursachers 2015 in Hessen, gruppiert nach Lichtverhältnissen und Umgebung (Quelle: UNFAS – Polizeiliche Unfalldatenbank Hessen, Zugriff 27.06.2016)

(§ 7) (ausgenommen Pos. 20, 25).“ mit 4,30%. Die Positionen 20 und 25 sind das „Überholen ohne Beachtung des nachfolgenden Verkehrs und/oder ohne rechtzeitige und deutliche Ankündigung des Ausscherens“ und „Nichtbeachten des nachfolgenden Verkehrs beim Vorbeifahren an haltenden Fahrzeugen, Absperrungen oder Hindernissen und/oder ohne rechtzeitige und deutliche Ankündigung des Ausscherens“, welche mit 0,34% bzw. 0,07% nicht häufig vorkommen.

Vergleicht man die Verteilung der Unfallursachen in Bezug auf Tag, Dämmerung bzw. Nacht, so kommt man zu folgendem Ergebnis: Im Vergleich häuft sich die Unfallursache Alkoholeinfluss nachts am stärksten mit 1820 Unfällen 2015, was über 63% aller Alkoholunfälle ausmacht und im Vergleich zum Anteil der Nachtunfälle von 26,49% deutlich höher liegt. Darauf folgen Unfälle durch andere Rauschmittel (44,63%), „nicht angepasste Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit“ (40,32%), Fehler beim Abbiegen (38,94%) und Übermüdung (37,56%). Dies ist auch in Abb. 2.12 dargestellt. Es fehlen die Werte für die Ursachen „Alkoholeinfluss“ sowie „Geschwindigkeit – in anderen Fällen“, da diese mit 7517 bzw. 2868 die Skala sprengen würden.

„Übermüdung“, „Fehler beim Abbiegen“ und „Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern an Fußgängerüberwegen“ sind zusätzlich die Ursachen, die in der Dämmerung mit 11,27%, 8,65% bzw. 8,59% im Vergleich zum Anteil an allen Unfällen mit 6,01% am häufigsten vorkommen.

„Andere Fehler des Fahrzeugführers“ beziehen sich auf den sog. menschlichen Faktor. Dies wird zum einen vermerkt, wenn es sich um Fahrerflucht handelt und die genaue Ursache nicht ermittelt werden kann. Zum anderen kann es sich hierbei um Ablenkung, bspw. durch die Benutzung eines Mobiltelefons, Überforderung oder auch gesundheitliche Probleme handeln.

Auf Hessens Straßen gab es 2015 242 Getötete, davon 76 bei Nachtunfällen (31,4%) und 14 bei Dämmerung (5,8%). 4681 Personen wurden schwer verletzt, davon 239 in der Dämmerung (5,1%) und 1101 in der Nacht (23,5%). Es gab 23159 Leichtverletzte, wovon 1243 (5,4%) in der Dämmerung verunfallten und 5061 (21,8%) in der Nacht.

Die häufigsten Ursachen für Unfälle mit Todesfolge in der Nacht sind „Geschw. - in anderen Fällen“ (18 Getötete), „Andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (14), Alkoholeinfluss (9) und „Nicht angepasste Geschwindigkeit mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit“ (5). 28 dieser 46 Todesfälle traten auf der Landstraße auf. Der Anteil der Ursache „andere Fehler beim Fahrzeugführer“ liegt für Getötete in der Nacht bei 18,4%.

Schwerverletzte gab es nachts am häufigsten wegen Alkoholeinfluss (212), gefolgt von „Geschw. - in anderen Fällen“ (194), „Andere Fehler beim Fahrzeugführer“ (113), „Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen (§ 8)“ (86), „Ungenügender Sicherheitsabstand“ (54) sowie „Fehler beim Abbiegen (§ 9)“ (48). Die „anderen Fehler beim Fahrzeugführer“ liegen hier bei 10,3%.

Die Verteilung der Unfälle nach Alter des Unfallverursacher ist in Abb. 2.13 dargestellt. In den Altersgruppen 18-25 Jahre und 26-50 Jahre werden auf Landstraßen mehr Unfälle in der Nacht verursacht als am Tag. Bei den 51-80jährigen ist es etwa gleich verteilt. Betrachtet man die Unfallursachen in der Nacht, so sind bei allen drei Altersgruppen dieselben sieben Ursachen – in leicht unterschiedlicher Reihenfolge – am häufigsten. Am häufigsten sind bei den 51-80jährigen in allen Umgebungen „Andere Fehler des Fahrzeugführers“, gefolgt von „Fehler beim Wenden oder Rückwärtsfahren“ und – innerorts – Alkoholeinfluss. Bei den jüngeren Altersgruppen (18-50 Jahre) ist der häufigste Grund innerorts „Andere Fehler des Fahrzeugführers“; auf Autobahnen und Landstraßen ist die „Geschw. - in anderen Fällen“ die Hauptursache.

3 Stand der Forschung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zu aktuellen Forschungserkenntnissen, die für die vorliegende Arbeit relevant sind. Zunächst werden Erkenntnisse zu Fahrerverhalten und Unfallursachen betrachtet, ebenso Studien zu Lichtwahrnehmung und Blendung. Danach werden die Themen Komplexität und Stress sowie physiologisches Feedback beschrieben.

3.1 Einflüsse auf das Fahrerverhalten

Das statistische Bundesamt errechnet für 2015 durchschnittlich 1,2 Fehler je Unfall mit Personenschaden im Sinne der Unfallursache „Fehlverhalten der Beteiligten“, wobei davon 69,2 Prozent Fehler von PKW-Fahrern waren [109]. Daraus wiederum waren die häufigsten Unfallursachen mit 18,1% „Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren“ sowie mit 17,2% Missachtung der Vorfahrt bzw. des Vorranges.

3.1.1 Eigenschaften von Straße und Straßenumfeld

Eine Studie der BAST zum Unfallgeschehen auf Landstraßen in Deutschland 2007 [42] zeigt, dass die Charakteristik der Unfallstelle in 29% der Unfälle auf Landstraßen eine Kurve beinhaltet. Bei diesen starben 40% der Getöteten auf Landstraßen 2007. Bei 20% der Unfälle lag eine Einmündung im Bereich der Unfallstelle, eine Kreuzung bei 11% und Gefälle bei 10%. 37% aller Unfälle auf Landstraßen waren Alleinunfälle, welche auch 37% aller Getöteten verursachten und 40% der Schwerverletzten. Wenn Fußgänger beteiligt sind, ist die Unfallschwere laut Kühn, Fröhming und Schindler [59] ebenfalls außerorts höher: 6% der Fußgängerunfälle (im untersuchten Datensatz der Medizinischen Hochschule Hannover von 1994) passierten außerorts. Dabei wurden 71,4% der betroffenen Fußgänger tödlich verletzt. Sie stellen ebenfalls fest, dass „die Zahl verunfallter Fußgänger mit dunkler Kleidung bei Dämmerung und Nacht um das Sechsfache höher als bei Personen mit heller Kleidung (14% zu 86%)“ liegt.

Die Fahrweise des Verkehrsteilnehmers leitet sich aus dem subjektiv wahrgenommenen Umfeld ab. Die Sichtverhältnisse sind nach Schlag [91] ein entscheidendes Merkmal der Trassenführung: Eine gute Sichtbarkeit des Streckenverlaufs verhindert eine zu hohe Beanspruchung der Fahrzeugführer und ermöglicht die kontinuierliche Anpassung der Geschwindigkeit. Bei niedriger Sichtweite und dem plötzlichen Auftreten eines unerwarteten Trassenelements, beispielsweise einer sehr engen Kurve, oder eines anderen Hindernisses wird eine große Geschwindigkeitsänderung notwendig. Die Häufigkeit und Schwere von Unfällen korreliert mit der Höhe dieser Verzögerungen. Eine zu hohe Sichtweite kann jedoch den Fokus des Autofahrers vom Nahbereich vor seinem Fahrzeug wegführen, was tendenziell zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit führt.

Auf Autobahnen bewirkt eine höhere Kurvigkeit laut Hristov [47] eine Zunahme der Fahrunfälle, während sie sich nicht auf das Geschwindigkeitsverhalten auswirkt. Längsneigungen zeigen jedoch einen deutlichen Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit. Hilfreich sind gut erkennbare Markierungen des Fahrbahnrandes, da diese es dem Fahrer erlauben, die Trassenführung räumlich wahrzunehmen. Dies wird durch Diem [27] bestätigt, der unter anderem nachweisen konnte, dass der Fokus beim Fahren tagsüber auf einer zweistreifig-einbahnigen Straße außerorts am rechten Fahrbahnrand liegt. In der Nacht reduziert sich die Fixationsentfernung auf

gerader Strecke von 120m auf 100m und der Fokus verschiebt sich zur Fahrstreifenmitte hin. In der Nacht wird in Linkskurven ebenfalls eher die Fahrbahnmitte fokussiert, in Rechtskurven ist es der rechte Fahrbahnrand. Ähnliches finden auch Schlag und Voigt [90], die auch das Blickverhalten in Kurven untersuchten, wobei jeweils eher die Markierung in der Kurveninnenseite fokussiert wurde. Schlag und Voigt [90] stellen ebenfalls fest, dass im freien Verkehr ein Mindestabstand von der rechten Randmarkierung gehalten wurde, der bei Gegenverkehr verringert wurde, sodass die gesamte befestigte Fahrbahnbreite ausgenutzt wurde.

Laut Richter u. a. [84] führt eine Erhöhung der Schwierigkeit in der Streckenführung trotz erhöhter Anforderung an den Fahrer nicht zu einem Nachlassen der Fahrleistung. Bei eintöniger Streckenführung auf Autobahnen oder Landstraßen kann jedoch laut Horne u. Reyner [46] ein zunehmender Aufmerksamkeitsverlust (Müdigkeit) beobachtet werden, was mit Unterforderung begründet wird. In der Stadt wird dies von Horne nicht beobachtet.

Becher u. a. [7] werten im BASt-Bericht V148, der sich im Wesentlichen auf die Auswertung früherer Forschungsarbeiten stützt, die Einflüsse der folgenden Straßeneigenschaften auf das Fahrerverhalten aus: Linienführung, Querschnitt, Straßenausstattung, Oberflächengestaltung und Bepflanzung. Sie kommen zu folgenden für die vorliegende Arbeit relevanten Ergebnissen: Abschnitte mit engen Kurven (Radien im Bereich 30 bis 180 m) verursachen „eine ständige Nachregelung der Geschwindigkeit“. Bei einer Fehleinschätzung der Kurve muss innerhalb dieser die Geschwindigkeit nachgeregelt werden, was zu einer erhöhten Querschleunigung führt. Die Markierung vorher nicht markierter Strecken führt zwar zu einer Erhöhung der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeit, aber nicht zu einem Anstieg der Unfallrate. Die erreichte Geschwindigkeitsverteilung ist homogener als vorher. Die straßenseitige Bepflanzung wird eher nicht im Verhalten des Fahrers abgebildet, so finden Becher et al.: „Mit Sicherheit lässt sich sagen, dass Fahrer das erhöhte Unfallrisiko, das von Bäumen im Seitenraum ausgeht, nicht in ihrem Verhalten berücksichtigen.“ [7]

Cohen [24] begründet mit dieser Verhaltensweise, dass „Unfallfallen als Stellen im Straßennetz angesehen werden“ können, „deren Gefährlichkeit aus der Ferne unterschätzt wird, sei es infolge falscher oder unvollständiger Wahrnehmung oder aber einer irreführenden Erwartungshaltung“. Dies ist laut Huguenin [50] (nach dem Alkoholkonsum) auch eine der Hauptursachen für Unfälle junger Fahrer, welchen die Erfahrung zur Einschätzung von Verkehrssituationen noch fehlt.

3.1.2 Lichteinflüsse

Wie bereits in Abschnitt 2.7 dargestellt, sind die Auswirkungen nächtlicher Unfälle schlimmer als die von Tagunfällen, wenn man die Anzahl Schwerverletzter und Getöteter betrachtet. Der Anteil der Unfälle in der Nacht entsprach 2014 mit etwa 20 Prozent ungefähr dem Anteil der nächtlichen Fahrleistung an der des Gesamtverkehrs, allerdings ist der Anteil der Schwerverletzten und Getöteten mit 22,5 bzw. 29,1% deutlich höher. Dabei geschieht der Großteil der Nachtunfälle mit Personenschäden innerorts (64,9%), auf Landstraßen der Großteil der Unfälle mit Getöteten (53,9%) [1][108] (siehe auch 2.7).

Adaptation. Schmidt-Clausen und Freiding [94] messen im Vorfeld des Fahrzeuges auf der Fahrbahn bei eingeschalteten Scheinwerfern Leuchtdichten im mesopischen Bereich. Dabei unterscheiden sie zwischen den Fahrbahnoberflächen Beton sowie nasser und trockener Asphalt. Die Leuchtdichten wurden in Abständen von 5 bis 50 Metern vor dem Fahrzeug vermessen. Beton erscheint bei Beleuchtung durch Gasentladungsscheinwerfer 5 Meter vor dem Fahrzeug mit $10\text{cd}/\text{m}^2$ etwa dreimal so hell wie trockener Asphalt (knapp $3\text{cd}/\text{m}^2$) und etwa zehnmal so hell

wie auf nassem Asphalt (knapp $1\text{cd}/\text{m}^2$). In einer Entfernung von 50m vor dem Fahrzeug ist die Leuchtdichte auf trockenem Asphalt etwa $0,12\text{cd}/\text{m}^2$. Dazwischen nimmt die Leuchtdichte exponentiell ab.

Straßenbeleuchtung. Bullough et al. [17] stellen fest, dass bei beleuchteten Kreuzungen (im US-Bundesstaat Minnesota) das Nacht-zu-Tag-Unfallverhältnis um 12 % niedriger ist als bei unbeleuchteten Kreuzungen. Bullough und Rea stellen außerdem fest, dass die relative visuelle Leistungsfähigkeit *RVP* (*relative visual performance*) in Knotenpunkten mit Straßenbeleuchtung gegenüber der unbeleuchteten Situation deutlich ansteigt [18]. Bei einer Detektionsentfernung von 60 Fuß (etwa 18,30 m) ist die RVP bereits ohne Umgebungsbeleuchtung auf einem sehr hohen Level, sodass hier kein Effekt festgestellt wird. Die Kennzahl RVP wird in den genannten Studien als ein Maß für die Detektionsgeschwindigkeit und -genauigkeit potentieller Gefahren im Straßenumfeld verwendet [82]. In einer ähnlichen Studie, durchgeführt durch Rea et al. [81], wurde dieser Effekt auf Fahrer verschiedener Altersgruppen untersucht. Die Verbesserung der RVP konnte vor allem bei jüngeren Fahrern (30 und 40 Jahre) festgestellt werden. Bei 60jährigen Fahrern zeigte sich nur ein geringer Effekt.

Weitere Lichtquellen. Auch andere, im Straßenverkehr vorhandene Lichtquellen können beispielsweise durch Ablenkung das Fahrerverhalten beeinflussen. Bullough u. Skinner [19] führten eine Messreihe zur Leuchtdichte von LED-Werbetafeln durch und fanden eine eher breite Verteilung: Bei den neun vermessenen Anzeige lagen die Werte für L tagesüber zwischen $540\text{cd}/\text{m}^2$ und $23.100\text{cd}/\text{m}^2$ (Mittelwert $6231\text{cd}/\text{m}^2$), nachts zwischen $4\text{cd}/\text{m}^2$ und $320\text{cd}/\text{m}^2$ (Mittelwert $164\text{cd}/\text{m}^2$).

Farbe. Vor dem Hintergrund der mit dem Alter nachlassenden Sehkraft haben Kimura-Minoda [55] die unterschiedliche Bewertung psychologischer Blendung durch LEDs verschiedener Farben untersucht. Dabei wurde eine Gruppe 22- bis 30jähriger mit einer Gruppe 68-74jähriger verglichen. Es wurden fünf verschiedene Wellenlängen getestet, 459nm (blau), 542nm (grün), 586nm (amber), 620nm (rot 1), 628nm (rot 2) und eine weiße LED (blau mit gelbem Phosphor) mit der Farbtemperatur $T_c = 6800\text{K}$. Nach dem Testen der sechs LEDs bei je vier bis sechs Leuchtdichte-Einstellungen kamen sie zu folgendem Ergebnis: Die jüngere Gruppe zeigte sich anfälliger für psychologische Blendung bei den Farben blau, grün und amber. Für rote und weiße LEDs wurde kein Unterschied nachgewiesen. Insgesamt wurde durch die blaue LED schon bei niedrigeren Leuchtdichten Blendung verursacht als bei den übrigen.

3.1.3 Individuelle Einflüsse

Emotionen. Für Roidl [85] stellen Emotionen das Kernstück eines Modells für das Fahrerverhalten dar, wobei die Empfindung Ärger am häufigsten vorkam. Auch er unterscheidet zwischen den Zielen „Schnelligkeit“ und „Sicherheit“. Wenn das Ziel „Sicherheit“ gefährdet war, war Angst häufiger als Ärger. Der Ärger war größer und häufiger, wenn andere Verkehrsteilnehmer an der Situation maßgeblich beteiligt waren, als bei einer Gefährdung des Ziels durch Eigenschaften des Straßenumfelds. Maag u. a. [64] finden, dass Ärger zu aggressiverem Folgeverhalten führt, was sich in einem geringeren räumlichen und zeitlichen Abstand sowie einem späteren Einleiten von Bremsvorgängen äußert.

Alter. „Je älter die Versuchspersonen sind, desto wichtiger erscheint ihnen ein wenig risikohafte, subjektiv sicheres Verhalten im Verkehr.“ finden Stephan u. a. [110] (S.145) in ihrem Bericht. Besonders stark ist der Unterschied zu den jüngeren Fahrern beim Überholverhalten und der Neigung zu Geschwindigkeitsübertretungen. Sie finden bei den älteren Teilnehmern (ab 50 Jahre) ihrer Studie auch eine höhere Entscheidungszeit und Fehlerrate bei der visuell-haptischen

Nebenaufgabe. Nach Rytz [86] sind die Unfallauswirkungen (2003/04 in der Schweiz) auf Senioren (ca. ab dem 70. Lebensjahr) schwerer, d.h. sie werden überdurchschnittlich häufig schwer verletzt oder getötet. Rytz macht vor allem die verminderte Sehfähigkeit als Unfallursache aus, aber auch die nachlassende Reaktionsfähigkeit, sowohl hinsichtlich der Aufnahmekapazität in komplexen Umgebungen als auch der motorischen Fähigkeiten, ist eine Ursache.

Nach Munsch [4] (zitiert nach [11]) sinkt etwa nach sieben Jahren bzw. 100.000 km Fahrpraxis die Anzahl der verursachten Unfälle auf das normale Niveau.

3.1.4 Fahrermodelle

Abstand. Schweigert [101] beobachtet bei seinen Versuchen zum Blickverhalten bei 29 % aller Fahrten bei freier Fahrt zu schnelles Fahren und bei 10 % einen zu geringen Längsabstand. Laut Untersuchung von Fecher [36] erhöhen Verkehrsteilnehmer mit steigender Geschwindigkeit auch den räumlichen Abstand zum Vordermann, die Zeitlücke zwischen den beiden Fahrzeugen bleibt jedoch in etwa konstant. Auf Autobahnen wird die Zeitlücke bei steigender Geschwindigkeit sogar leicht kleiner. Auf Landstraßen wird generell ein etwas höherer zeitlicher Abstand gehalten (1,52 Sekunden) als auf Autobahnen (1,38 Sekunden zum Vordermann). Fecher stellt weiter fest, dass der Abstand bei Nässe größer ist als bei trockener Fahrbahn. Wenn allerdings zusätzlich Sichtbehinderungen auftreten, wird dieser wieder verkleinert.

Risiko-Verhalten. Zur Beschreibung der Reaktion auf die verschiedenen Einflussfaktoren schlägt Bald [6] ein Modell vor, bei dem die Ziele „schnelle Ankunft am Fahrtziel“ und „Sicherheit“ gegenüberstehen. Dabei wählt der Fahrende das Risikoniveau selbst und hält es in etwa konstant. Huguenin [49], aufbauend auf Wilde [119], schlägt ein lineares Modell für das tolerierbare Risiko vor, welches in diesem Fall durch das Verhältnis von objektiv vorhandener zu subjektiv wahrgenommener Sicherheit beschrieben wird. Dieses Verhältnis wird durch den Fahrer ausbalanciert, was gleichfalls ein konstantes Risikoniveau bedeutet. Braess und Donges [11] unterstützen den Ansatz der Risiko-Homöostase und legen dies anhand der Kompensation von Sicherheitswirkungen von Stabilisierungssystemen dar. Die Risiko-Homöostase oder -Kompensation wird bei allen als Regelkreis betrachtet, wobei der Fahrer sowohl Messglied als auch Regler darstellt. Wird beispielsweise, wie bei Rauch u. a. [80], die Beanspruchung beim Fahren durch eine Nebenaufgabe erhöht, so wird die Geschwindigkeit bei Bearbeitung der Nebenaufgabe reduziert. Die Einschätzung bei kritischen Situationen führt auch dazu, dass u.a. vor Kurven die Bearbeitung der Nebenaufgabe ganz unterlassen wird.

Trimpop [113] definiert das Eingehen eines Risikos als "bewusst oder unbewusst gesteuertes Verhalten mit einer wahrgenommenen Unsicherheit hinsichtlich seiner Folgen und/oder möglichen Nutzens oder Kosten in Bezug auf das körperliche, wirtschaftliche oder psycho-soziale Wohlergehen von sich selbst oder anderen"(übersetzt aus dem Englischen). Aus den Ergebnissen seiner umfangreichen Literaturstudie geht hervor, dass Risikoverhalten stark von der individuellen Einschätzung einer Situation abhängt, welche wiederum auf persönlichen Einstellungen und Erfahrungen beruht. Eine Weiterführung dieser Aussage geschieht durch Stephan u. a. [110], die weiterhin finden: „Menschen, die sich selbst als risikobereiter darstellen, erleben auf physiologischer Ebene tendenziell geringere Beanspruchungen.“ (S.151)

3.2 Visuelle Wahrnehmung im Straßenverkehr

Im mesopischen Bereich zeigt sich bei Freiding [37] eine deutliche Beteiligung der Stäbchen bei der Ermittlung der Empfindlichkeitskurve $V_M(\lambda)$, welche nach Khanh [54] in ihrer Art und

Stärke mit der Adaptationsleuchtdichte variiert. So liegt eine erhöhte Empfindlichkeit in Bereichen niedriger Wellenlängen (etwa 410 bis 470 nm) im Vergleich zum photopischen Sehen vor [37].

Kontrast. Holladay [45] stellte bereits 1926 fest, dass der kleinste wahrnehmbare Unterschied der Leuchtdichte zwischen Objekt und Umfeld von der Beleuchtungsstärke durch die Blendquelle am Auge abhängt und mit dem Quadrat des Winkels zur optischen Achse abnimmt. Nach Schmidt-Clausen und Freiding [94] ist der mittlere Schwellenkontrast (siehe Gleichung 2.2, S. 6) bei einer Umgebungsleuchtdichte von $L_U = 0,032 \text{ cd/m}^2$ (mesopischer Bereich) zu $K_S = 1,68$. Dabei variiert die Kontrastempfindlichkeit mit dem Alter: Bei jüngeren Testpersonen (20-29 Jahre) liegt K_S bei 1,67, bei älteren (60-69 Jahre) bei 1,80. Bei einer Umgebungsleuchtdichte von $L_U = 0,1 \text{ cd/m}^2$ sinkt der Schwellenkontrast auf ein Mittel von 1,5; die Zunahme des mittleren Schwellenkontrasts mit dem Alter ist in diesem Fall tendenziell stärker. Bei Berücksichtigung von Streuungseffekten ist die Kontrastwahrnehmung bis zum 50. Lebensjahr in etwa konstant, nimmt dann etwas und ab dem 70. Lebensjahr stark ab. Schmidt-Clausen und Freiding finden die Abnahme des Schwellenkontrasts mit zunehmender Umgebungsleuchtdichte. Laut Paramei u. Khanh [76] nehmen Sehschärfe und Kontrastsensitivität ab dem 60. Lebensjahr merklich ab, wobei dies besonders im mesopischen Bereich stark ausgeprägt ist.

Bullough stellt in [16] ein vorläufiges Modell zur peripheren Wahrnehmung vor, das als unabhängige Variablen die Reflektivität eines Ziels ρ (kombiniert mit der Beleuchtungsstärke durch die verwendeten Scheinwerfer), den Winkel zur Blickrichtung θ sowie den Raumwinkel ω , den das Ziel einnimmt, zu der Reaktionszeit der Probanden bis zum Wahrnehmen (und Loslassen eines Knopfes) als abhängiger Variable in Beziehung setzt. Dabei nimmt die Reaktionszeit im Winkelbereich bis ca. $\theta = 7,5^\circ$ exponentiell zu, während sie im Bereich darüber etwa gleichbleibend hoch ist. Im Bezug zur Reflektivität nimmt die Reaktionszeit mit sinkendem ρ bei konstanter Beleuchtungsstärke E (äquivalent zu sinkender Leuchtdichte L des Ziels bei gleichbleibendem Raumwinkel ω) exponentiell zu.

Böhm [8] ermittelt für die Erkennbarkeitsentfernung eines Fußgängers bei Abblendlicht ca. 85 m. Im Scheinwerferlicht des Gegenverkehrs erhöht sich diese Entfernung auf 88 m (Gegenverkehr in 100 m Entfernung) bzw. auf knapp 150 m (Gegenverkehr in 200 m Entfernung), was darauf zurückzuführen ist, dass das Zielobjekt nun als Silhouette vor hellem Hintergrund erscheint.

Blickverhalten. Schweigert [101] misst für vorausfahrende Fahrzeuge die längste Fixationsdauer mit im Mittel 0,73 Sekunden, gefolgt von rückwärtigen Fahrzeugen, dem Tachometer, der Fahrbahn, entgegenkommenden Fahrzeugen und schließlich Verkehrszeichen (VZ) mit 0,45 Sekunden. Am häufigsten wird der Tacho fixiert, gefolgt von Fahrbahn, VZ sowie entgegenkommenden Fahrzeugen, die etwa gleich häufig vorkommen. Danach erst folgen die vorausfahrenden Fahrzeuge. In komplexeren Bereichen, hier nennt Schweigert bspw. Ortsdurchfahrten, ist die Fixationsdauer eher niedriger als in weniger komplexen Umgebungen.

Tagsüber findet Schulz [100] in seiner Arbeit zum Blickverhalten auf Landstraßen eine kritische Sichtweite von ca. 75 bis 160 m und eine Orientierungssichtweite von ca. 190 bis über 320 m. Lag die Sichtweite im kritischen Bereich, wurde häufig gebremst, es wurden abrupte Fahrmanöver durchgeführt und der Blick wurde nur sehr selten von der Fahrbahn abgewandt. Im Orientierungsbereich wird eine gesteigerte Konzentration beobachtet sowie häufigere Bremsmanöver und Fixieren des Fahrraums.

Psychologische Blendung. Schmidt-Clausen u. Bindels [93] fanden in ihrer Testreihe zur psychologischen Blendung durch KFZ-Beleuchtung, dass die Bewertung der empfundenen Blen-

dung auf der deBoer-Skala (1 ist der höchste, 9 der niedrigste Wert für die Blendung) logarithmisch mit steigender Blendbeleuchtungsstärke abnimmt. Mit steigender Adaptationsleuchtdichte genauso wie steigendem Blendwinkel verschiebt sich die Bewertungskurve nach oben, d.h. die empfundene Blendung wird schwächer. Auch Bullough u. a. [20] stellen fest, dass mit steigender Blendbeleuchtungsstärke auch die empfundene psychologische Blendung steigt, während sie mit steigender Umgebungsleuchtdichte sinkt. Die psychologische Blendung ist durch Gasentladungslampen im direkten Vergleich stärker als durch Halogenlichtquellen.

Theeuwes u. a. [111] beschreibt, dass eine Blendquelle auf niedriger Höhe eine signifikante Reduktion der Fußgängererkennung bewirkt und die Teilnehmer seiner Studie bei Blendung ihre Fahrt verlangsamten. Beide Effekte waren bei älteren Probanden (57 bis 69 Jahre) stärker ausgeprägt.

3.3 Komplexität und Stress

Das Merriam-Webster Dictionary [67] definiert Komplexität als Zustand schwerer Trennbarkeit, Lösbarkeit oder Analysierbarkeit.

Vogt u. a. [116] finden als Eingangsgröße für die Komplexität in der Flugverkehrskontrolle die Anzahl der kontrollierten Luftfahrzeuge, wobei die Anteile der Flugzeugklassen gewichtet eingehen. Im Straßenverkehr findet Fastenmeier [35] vor allem diese Faktoren als Komplexitätsursachen: Kreuzungen in einer Verkehrssituation, die Verkehrsdichte, Sichtbedingungen und Wettereinflüsse. Theofanou [112] konzipiert daraufhin komplexe Situationen im Fahrsimulator mit den Eigenschaften hohe Verkehrsdichte und Gegenverkehr kombiniert mit einer Überholssituation, einem unerwarteten Hindernis und einem engen Fahrstreifen. Hinzu kommt in einigen Situationen noch die Sichtbehinderung durch Nebel. Die getesteten komplexen Situationen wurden subjektiv als anspruchsvoller als die einfachen Situationen beurteilt, gleichzeitig nahm die Leistung bei der Bearbeitung der Sekundäraufgabe ab.

Hering [44] kommt zu dem Schluss, dass im Stadtverkehr Abbiegevorgänge „die zentralen Belastungsvorgänge“ darstellen, wobei dieselbe räumliche Situation abhängig von der Verkehrssituation als „einfach“ oder „komplex“ bewertet wurde. Als komplex wurden Situationen eher dann bewertet, wenn sie höhere Aufmerksamkeit vom Fahrer forderten. Als wichtigsten Unterschied zwischen den beiden Bewertungen wurde die Vorhersehbarkeit einer Situation identifiziert.

Die Komplexität eines Szenarios, tagsüber und auch nachts, stellt laut CIE 137-2000 [22] einen kritischen Einfluss bei der Wahrnehmung von Verkehrszeichen dar. Allerdings sind die Ergebnisse aus den durchgeführten Laborstudien (Bewertung von Folgen statischer Bilder) nur sehr schwer auf den realen Straßenraum zu übertragen. Der CIE-Bericht listet als komplexitätssteigernde Faktoren u.a. die Anzahl der entgegenkommenden Fahrzeuge, visuelle Ablenkungen, die Anzahl der Lichtquellen in einem Szenario sowie die Anzahl der Verkehrszeichen auf. In ähnlichen Laborstudien zeigt Reinisch [83], dass die subjektiv wahrgenommene Komplexität eines Szenarios mit zunehmendem Alter steigt, wobei die Schwelle, ab der eine Steigerung nachgewiesen werden konnte, 60 Jahre betrug.

Sie entwickelt in ihrer Arbeit [83] ein Modell für die empfundene Komplexität, welches die Eigenschaften von Objekten unter Einbeziehung ihrer kognitiven Relevanz sowie deren Position zur Bewertung eines Szenarios heranzieht.

Nach Gstalter [41] führte eine hohe Informationsmenge in einer Verkehrssituation auch zu erhöhtem Stress beim Autofahrer. Die betreffenden Situationen führten aber nicht zwangsläufig auch zu gefährlichen Situationen. Vielmehr wurden in diesem Fall Kompensationsreaktionen

eingeleitet, vor allem eine Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeit. Vogt u. a. [116] finden in ihrer Studie mit Fluglotsen, dass die Verkehrslast (Menge kontrollierter Luftfahrzeuge) sich signifikant auf den empfundenen Stress auswirkt.

Die subjektive Einschätzung des Stressempfindens ist nach Windemuth u. a. [121] tendenziell eher niedriger als die tatsächlich gemessenen Auswirkungen in Biosignalen und Fehlern bei der Bearbeitung einer Test-Aufgabe.

3.4 Physiologisches Feedback

Um den hervorgerufenen Stress nicht nur subjektiv durch die Probanden bewerten zu lassen, hat sich die Aufnahme von biophysikalischen Signalen etabliert. Dafür werden Veränderungen, hervorgerufen durch die Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin (siehe Abschnitt 2.6 bzw. [40]), beobachtet. Dazu zählen u.a. Herzfrequenz HF , elektrische Leitfähigkeit der Haut EDA und Blutdruck.

Husar [51] identifiziert als Störsignale bei der Biosignalmessung hauptsächlich das Stromnetz (50 Hz), Störfelder beim Schalten elektrischer Netzteile sowie die Amplitudenmodulation von Messverstärkern in der Nachrichtentechnik (bspw. Mobiltelefonie). Auch Bewegungsartefakte, die durch Bewegungen der Testperson relativ zu Kabel oder zum Gerät auftreten, können Störungen im Signal hervorrufen. Die Frequenz der Biosignale erstreckt sich auf einen Bereich von 0 Hz bis etwa 10 kHz.

3.4.1 Herzfrequenz

Die Störsignale bei der Messung der Herzrate sind mit Hoch- und Tiefpassfiltern (für Frequenz und Amplitude) gut zu eliminieren. Bei der Messung dieses Signals werden die *Interbeat Intervals (IBI)* pro Minute gezählt, sodass alle Störungen, die in der Amplitude dem Signal nicht zu ähnlich sind, gut ausgeschlossen werden können [51].

Vogt u. a. [117] konnten in Testreihen mit Fluglotsen einen signifikanten Zusammenhang zwischen Anzahl der kontrollierten Flugzeuge, speziell größere Flugzeuge, und Herzrate zeigen. Drachen u. a. [32] finden bei ihren Untersuchungen zur Psychophysiologie bei Computerspielen, dass ein Anstieg der Herzrate auf Frustration und Anspannung hinweist. Niedrige Werte der Herzrate, gemittelt über einen gewissen Zeitraum, zeigen eine gute Immersion in die Aufgabe (das Spiel) und eine positive Gefühlsstimmung an; die Autoren sprechen auch von einem Flow-Zustand.

Auch im Straßenverkehr wird die Herzrate als Bewertungskriterium verwendet: Stephan u. a. [110] weisen in anspruchsvollen Situationen, bspw. beim Einparken und Linksabbiegen, einen deutlichen Anstieg nach. Theofanou [112] findet einen direkten Zusammenhang zur Streckenkomplexität auf Autobahnen und Landstraßen, während sie kein geeignetes Maß für die Ablenkung darstellt.

3.4.2 Hautleitwert

Die trockene Haut ist mit einem spezifischen Widerstand von $\rho \approx 10^4 \Omega cm$ ein sehr schlechter elektrischer Leiter. Die Körperflüssigkeit besitzt demgegenüber mit $\rho = 67 \Omega cm$ einen deutlich geringeren Widerstand [51].

Boucsein et al. [10] empfehlen bei der Messung der EDA mit Gleichstrom die Verwendung von Silber/Silberchlorid-Elektroden (keine Einwegelektroden), um die Effekte der Polarisierung, wel-

che sich in einem Level-Drift äußern, zu minimieren. Außerdem sollte das Elektrodenkabel, welches die Verbindung zum Verstärker herstellt, am Probanden etwa 10 bis 15 cm vom Messpunkt entfernt befestigt werden, um Artefakte durch Zug am Kabel zu vermeiden.

Schaaff [88] stellt fest, dass EDA weniger zur Beurteilung langfristiger emotionaler Belastung dient, sondern besser zur Bewertung kurzfristiger Veränderungen. Grundsätzlich bewertet sie EDA als „zur Identifikation emotionaler Stimuli geeignet“ ([88], S. 141), mit der Einschränkung, dass die Aussagekraft des EDA-Signals bei körperlicher Belastung nicht mehr gegeben ist. Auch Braithwaite u. a. [12] beurteilen EDA als zur Messung von Erregungszuständen des sympathischen Systems gut geeignet, da es nicht durch parasympathische Aktivitäten beeinflusst wird und für bewusste und unterbewusste emotionale Prozesse nutzbar ist.

Beide [88, 12] empfehlen zur Interpretation des EDA-Signal eine ähnliche Vorgehensweise. Bei der Auswertung des Signal sollen die kurzfristigen (phasischen) Signalanteile separat von den längerfristigen (tonischen) betrachtet werden. Dies drückt sich in der Unterteilung in die beiden Signalarten SCR – Skin Conductance Response für kurzfristige und SCL – Skin Conductance Level für längerfristige Veränderungen aus. Die SCR-Peaks sollten von der Bewertung des SCL-Signals ausgeschlossen werden, da sie bei der Bildung des Durchschnitts große Fehler verursachen. Diese Peaks können vorher vom Gesamtsignal subtrahiert werden oder es werden nur Bereiche ohne SCR-Peaks betrachtet. Die SCR-Peaks können weiter in reizspezifische und nicht-reizspezifische Ausschläge unterteilt werden, wobei die nicht-reizspezifischen als Maß für den allgemeinen Erregungszustand dienen können.

3.5 Fragestellung und Ziel

Die durchzuführenden Untersuchungen sollen die vorliegenden Studien zu Einflüssen auf die Beanspruchung des Kraftfahrers um Faktoren im nächtlichen Straßenverkehr erweitern. Einige Studien zur Komplexitätswahrnehmung in der Nacht wurden durchgeführt, häufig handelt es sich aber um Laborstudien mit der Beurteilung von Bildfolgen. In der vorliegenden Arbeit sollen kontinuierliche Aufgaben in Labor und realem Straßenumfeld durchgeführt werden. Schwerpunkte liegen dabei auf der lichttechnischen Beurteilung dieser Faktoren und auf der Eignung biophysikalischer Signale zur Bewertung der verursachten Beanspruchung.

Diese Zielsetzung führte zu folgenden Fragestellungen:

- Welche Einflüsse wirken sich im nächtlichen Straßenverkehr auf die subjektiv empfundene Komplexität aus?
- Welche Unterschiede bestehen hinsichtlich der Beanspruchung im nächtlichen Straßenverkehr zwischen Autobahn, Landstraße und innerörtlichem Verkehr?
- In welchem Maße wirkt sich die Blendung durch Gegenverkehr auf die wahrgenommene Komplexität und auf die physiologische Reaktion aus?
- Welches der biophysikalischen Signale *HF*, *SCL*, *SCR* und *EOG* ist zur Messung der Beanspruchung durch Lichteinflüsse bei Nachtfahrten geeignet?

Nach der Behandlung dieser Fragen durch die im folgenden Kapitel beschriebenen Versuchsreihen soll ein qualitatives Komplexitätsmodell erstellt werden. Dieses soll die identifizierten Einflussfaktoren in Relation zur wahrgenommenen Komplexität setzen.

4 Methodik

4.1 Überblick

Nach der Definition der Messgröße „Komplexität im nächtlichen Straßenverkehr“ wurde die Vorgehensweise zur Messung dieser latenten Variable festgelegt. Da es sich um eine individuelle Wahrnehmung handelt, müssen messbare Parameter gefunden werden, die zur Beschreibung der Ausprägung dieser Wahrnehmung herangezogen werden können. Deshalb wurden zunächst im Rahmen einer Voruntersuchung Testfahrten im realen Straßenumfeld durchgeführt, um herauszufinden, wie Autofahrer ihr Verkehrsumfeld wahrnehmen, welche Umgebungsvariablen besonderen Einfluss ausüben und insbesondere welche Worte sie benutzen, um diese zu beschreiben (Abschnitt 4.2).

Nach dieser Untersuchung konnte die Planung für die tiefer gehenden Tests erfolgen.

Basierend auf der Voruntersuchung wird angenommen, dass die Komplexität im Verkehrsumfeld Stress und Ermüdung beim Fahrer hervorruft. Diese beiden Ausprägungen sind, wie die Komplexität selbst, latente Variablen, die nicht direkt gemessen werden können. Allerdings sind für diese beiden Variablen Messmethoden bekannt und hinreichend erforscht. Die Reaktion des Körpers auf Stress, das heißt auf eine psychologische Belastung, zeigt sich unter anderem in Veränderungen von Herzfrequenz und Hautleitwerten, welche physikalisch messbar sind.

Ein häufiger Störfaktor im nächtlichen Straßenverkehr ist die Blendung. Da dies bekannt war, war zunächst der Einfluss der Blendung allein auf die Belastung eines Menschen festzustellen (Abschnitt 4.4).

Für die Untersuchung der Auswirkungen weiterer Parameter wurde ein Fahrsimulator aufgebaut (Abschnitt 4.5). Die Menge der Einflussfaktoren, die zur Komplexität im Straßenverkehr beitragen, ist sehr groß, wie Voruntersuchung und Recherchen (Abschnitte 2.2.3 und 3.1) gezeigt haben. Eine Untersuchung aller Parameter, soweit feststellbar, sowie aller ihrer Wechselwirkungen war aus zeitlichen Gründen nicht durchführbar. Deshalb wurden drei wichtige Variablen ausgesucht: Straßenbeleuchtung, Innenraumbeleuchtung und Blendung. Diese drei Faktoren sind besonders im nächtlichen Straßenverkehr wichtig, da sie die Lichtwahrnehmung direkt verbessern oder beeinträchtigen können. Die Untersuchung dieser Einflussgrößen unter Einbeziehung von Biosignalen soll dazu beitragen, die menschliche Wahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr besser zu verstehen.

Um nichtsdestotrotz eine Einschätzung weiterer Wirkungsgrößen sowie deren Wechselwirkungen zu erhalten, wurden außerdem Feldtests durchgeführt. Dabei wurden Nachtfahrten im realen Straßenumfeld unternommen, und es wurden Biosignale der Fahrer aufgezeichnet. Die Probanden wurden zusätzlich aufgefordert, Verkehrssituationen hinsichtlich ihrer Komplexität zu bewerten und dieses auch zu begründen.

Um eine weitere Verfeinerung der Ergebnisse zu erreichen, wurde weiterhin eine Befragung durchgeführt. In dieser wurden auch Parameter angesprochen, die in den vorhergehenden Untersuchungen schwer zu messen waren, wie zum Beispiel der Einfluss der Verwendung bestimmter Farben bei Leuchtelementen.

Aus technischen Gründen (der Simulationsrechner wurde bei einem Stromausfall, verursacht durch eine benachbarte Baustelle, zerstört) mussten die Feldtests vor den Laboruntersuchungen stattfinden. Die unten aufgeführte Reihenfolge ist die Reihenfolge der tatsächlichen Durchführung. Alle Versuche im realen Straßenumfeld wurden nach Einbruch der Dunkelheit bei trockener Witterung durchgeführt.

4.2 Voruntersuchungen

Laien verwenden einen anderen Wortschatz als Fachleute, um Verkehrssituationen zu beschreiben. Außerdem nehmen sie möglicherweise Lichteinflüsse und Verkehrssituationen anders wahr, da eine andere Vorbildung vorliegt. Um sowohl sicherzustellen, dass für die weiteren Untersuchungen geeignetes Vokabular in Testanweisungen und Fragebögen verwendet werden würde, als auch, um die Parameter mit dem größten Einfluss zu ermitteln, wurde eine Voruntersuchung durchgeführt. In dieser wurden drei Probanden gebeten, nach Einbruch der Dunkelheit eine vorgegebene Strecke zu fahren und dabei auftretende Verkehrssituationen zu beschreiben. Dabei sollten sie frei sprechen und berichten, was sie empfanden und aus welchem Grund. Die drei Probanden besaßen (bei Durchführung im Frühjahr 2011) die folgenden Eigenschaften:

Tabelle 4.1.: Probanden der Voruntersuchung

Geschlecht	Alter	Beruf	Fahrerfahrung
m	28	Student Lehramt (Englisch & Informatik)	ca. 6000 km/Jahr
w	38	Lehrer (Deutsch & Ethik)	ca. 8000 km/Jahr
w	58	Lehrer (Deutsch & Französisch)	ca. 15000 km/Jahr

Die Personen wurden bewusst so ausgesucht, dass von einem umfangreichen Wortschatz ausgegangen werden konnte, da ein Studium in Deutsch oder Englisch vorlag bzw. gerade durchgeführt wurde. Die Probanden stammen aus unterschiedlichen Altersgruppen, sind unterschiedlichen Geschlechts und besitzen unterschiedlich große Fahrerfahrung, sodass verschiedene Sichtweisen auf den Straßenverkehr vorhanden waren. Auf diese Weise konnte ein breites Spektrum an Parametern und den entsprechenden Empfindungen samt Beschreibung gesammelt werden.

Während der Fahrten wurde aus der ungefähren Perspektive des Fahrers gefilmt; die Aussagen der Probanden wurden, mit deren Einverständnis, aufgenommen.

4.3 Feldtests zur Komplexitätswahrnehmung

Das Ziel der Durchführung von Versuchen im realen Straßenumfeld ist zum einen die Verifikation von Ergebnissen, die im Simulator erzielt wurden. Zum anderen ist die reale Umgebung in Kombination mit der tatsächlichen Fahraufgabe vielfältiger als die im Simulator überprüften Parameter. In diesem Falle wurden die Feldtests wegen technischer Probleme zeitlich vor den Simulatortests durchgeführt. Deshalb wurden sie so konzipiert, dass möglichst viele Situationen aus dem Simulator enthalten waren.

4.3.1 Teststrecke

Die gewählte Teststrecke (Abb. 4.1) umfasste ca. 70 km auf Autobahnen, 25,5 km auf Landstraßen (nachgeordnetes Netz mit Ortsdurchfahrten) und 8 km in der Innenstadt von Frankfurt

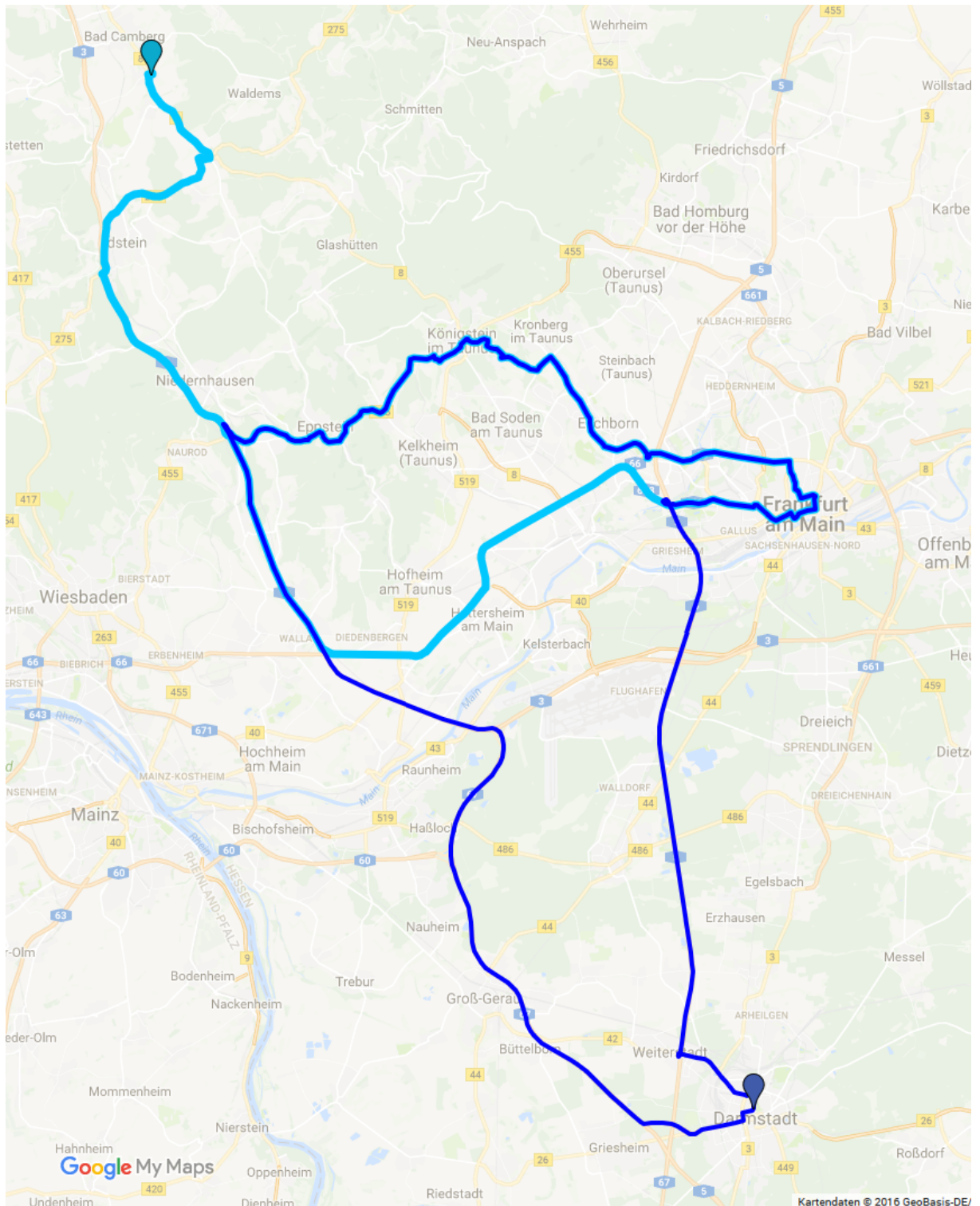


Abbildung 4.1.: Streckenverlauf der Feldtests. In dunkelblau ist die Strecke mit Startpunkt in Darmstadt dargestellt, in hellblau und etwas breiter die Strecke mit Startpunkt in Bad Camberg (Quelle des Kartenmaterials: Google Maps).

am Main. In den Autobahnabschnitten enthalten waren drei- und vierstreifige Autobahnabschnitte, mindestens ein Knotenpunkt (Wiesbadener Kreuz) und sowohl beleuchtete als auch unbeleuchtete Autobahnabschnitte. Die Streckenteile auf der Landstraße beinhalteten schmale sowie gut ausgebaute Strecken, Abschnitte mit neuer Straßenmarkierung und ohne Markierung, kurvenreiche und gerade Abschnitte sowie Steigung bzw. Gefälle und bewaldete Gebiete. Es waren beleuchtete und unbeleuchtete Abschnitte vorhanden. Die Durchfahrten von Dörfern und kleineren Städten entlang der Landstraße wurden als innerorts gewertet. Die Durchfahrt der Frankfurter Innenstadt schloss mehrspurige Straßen mit Lichtsignal-geregelten Kreuzungen, Straßen in Wohngebieten, Seitenstreifen mit geparkten und haltenden Fahrzeugen, beleuchtete und selbst leuchtende Reklame ein, um nur die wichtigsten zu nennen.

4.3.2 Messung biophysikalischer Signale

Um Stress als Indikator für die wahrgenommene Komplexität zu bewerten, werden bei den Probanden die biophysikalischen Signale Herzfrequenz und Hautleitwerte aufgenommen. Zusätzlich wird ein Elektrookulogramm aufgenommen, das die Aktivität der Augenmuskulatur aufzeichnet. Dadurch soll verfolgt werden, ob die Menge der im Umfeld vorhandenen Reize sich auf die Augenbewegungen auswirken und wie dies im Zusammenhang mit der Komplexität steht. Zur Messung dieser Signale wurde das Biosignalmessgerät Par-Port/F [75] des Herstellers PAR Medizintechnik verwendet (Abb. 4.2). Dieser mobile Messwertverstärker und -speicher wurde nach Angaben des Hersteller unter anderem für Fahrversuche konzipiert.

Zur Auswertung der Signale musste auch die Atemfrequenz AF erfasst werden, was mit einem elastischen Gurt geschah, der um den Brustkorb gelegt wurde. Dieser Gurt wurde bei der Verkabelung der Probanden zuerst angelegt, sodass auch die Gurtweite bequem eingestellt werden konnte. Als Messbereich wurde für die Atemfrequenz nach Versuchsmessungen im Labor $\pm 0,5$ mV gewählt. Anschließend wurden die Elektroden für das EKG angeklebt, wobei es sich um selbstklebende Silber/Silberchlorid-Elektroden mit Druckknopfanschluss handelte, die eine Hautkontaktfläche von 38 mm^2 und einen Wechselstromwiderstand von 700Ω aufwiesen [3]. Die Messelektroden wurden rechts und links am Oberkörper angebracht, sodass sie jeweils seitlich des Herzes positioniert waren. Die dritte Elektrode wurde als Referenz unten links direkt über dem Becken angebracht. Als Messbereich wurde auch hier $\pm 0,5$ mV gewählt.

Zur Messung der EDA wurden Napf-Elektroden verwendet, die mit einer NaCl-haltigen (leitfähigen) Paste befüllt wurden. Sie wurden mit einem doppelseitigen Klebering an der Handfläche der rechten Hand des Probanden befestigt und zusätzlich mit medizinischem Klebeband (Leukoplast®) gegen Herabfallen gesichert. Die rechte Hand war in diesem Fall die einzige Möglichkeit zur Anbringung der EDA-Elektroden, da die Kabel der Sensorik bei der Befestigung an der linken Hand die Bewegungsfreiheit zu sehr eingeschränkt hätte. Die Befestigung am Fuß war wegen der Betätigung der Pedale ausgeschlossen. Da mit der rechten Hand die Schaltung betätigt wurde, sind die Signale der EDA in Situationen, wo häufig geschaltet werden musste, vorsichtig zu interpretieren. Das Kabel der EDA-Elektroden wurde mit einem Klettband am Arm des Probanden befestigt, um Effekte durch einen möglichen Zug am Kabel zu vermeiden. Das Signal für die SCR wurde im Intervall $\pm 5 \mu\text{S}$ aufgenommen, das Signal für das SCL im Bereich $\pm 50 \mu\text{S}$. Auch ein EOG wurde aufgenommen, wofür die Elektroden mit Kleberingen ober- und unterhalb des rechten Auges befestigt wurden. Auch hier handelte es sich um Napfelektroden, mit NaCl-haltiger Paste befüllt. Der Messbereich für das EOG wurde mit $\pm 100 \mu\text{V}$ festgelegt.

Zusätzlich zu den biophysikalischen Signalen konnte das Gerät auch eine manuelle Eingabe von einem Taster verarbeiten. Dieser bot die Ziffern 0 bis 9 als Eingabetasten an. Dies wurde in den



Abbildung 4.2.: Das Gerät Par-Port/F zur Messung der biophysikalischen Signale.

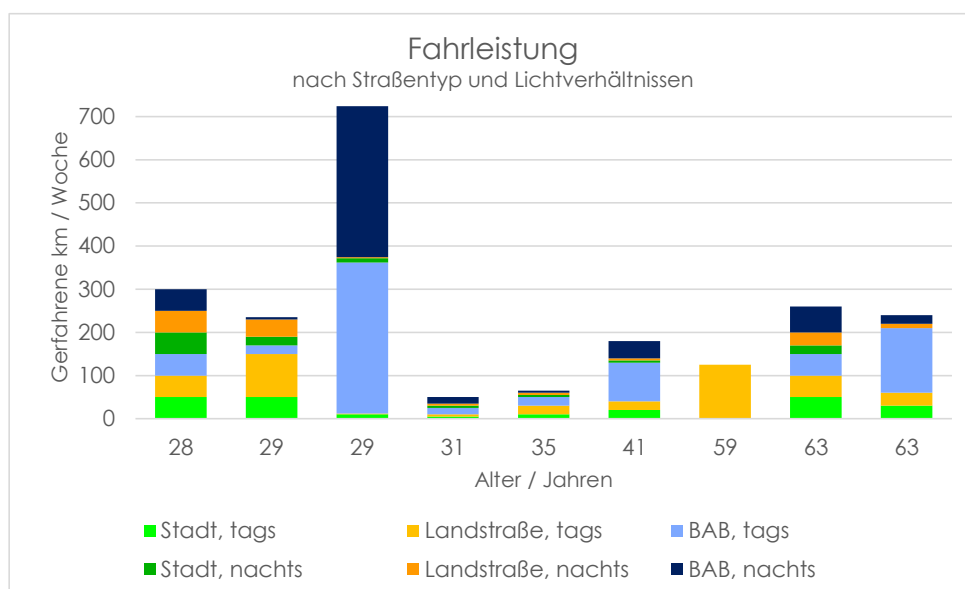


Abbildung 4.3.: Fahrerfahrung der Probanden in Kilometern pro Woche.

durchgeführten Versuchsreihen durch den Testleiter genutzt, um Testabschnitte zu markieren und die zeitliche Zuordnung bei der Datenauswertung zu erleichtern.

4.3.3 Testablauf

Die Fahrten fanden zwischen Ende November 2011 und Ende Januar 2012 statt. Bei Durchführung der Tests war die Sonne mindestens seit einer halben Stunde untergegangen, um eine Nachtfahrt zu erreichen. Das Probandenkollektiv setzte sich wie in Tabelle 4.2 dargestellt zusammen, die straßentypbezogene Fahrerfahrung ist in Abb. 4.3 dargestellt.

Da ein Teil der Probanden in und um Darmstadt ansässig ist, ein anderer um Bad Camberg, wurden zwei Strecken entworfen (Abb. 4.1), die in den beiden Städten starten und sich in den Abschnitten auf Landstraßen und innerorts überlagern. Ein Teil der Autobahnstrecke ist ebenfalls gleich. Am Startpunkt wurden die Probanden zunächst an das Messgerät für die Biodaten angeschlossen, was aufgrund der kalten Witterung im Haus geschah, und nahmen danach erst den Platz auf dem Fahrersitz ein. Nachdem Kabel und Gerät sicher im Fahrzeug verstaut waren, wurde von den Probanden ein Fragebogen zu persönlichen Daten und Fahrerfahrung ausgefüllt.

Tabelle 4.2.: Probanden der Feldtests

Alter	Geschlecht	Testdatum	Sehhilfen	Halten der Fahrerlaubnis
41	m	30.11.2011	Brille	15 Jahre
28	m	02.12.2011	–	10 Jahre
29	w	13.12.2011	–	11 Jahre
35	m	12.01.2012	–	16 Jahre
29	m	13.01.2012	–	11 Jahre
31	m	12.01.2012	–	14 Jahre
63	m	25.01.2012	–	43 Jahre
63	m	26.01.2012	Brille	46 Jahre
59	w	30.01.2012	Brille	38 Jahre

Sie erhielten außerdem schriftlich die Anweisungen zum Test (siehe Abschnitt A.2.1 im Anhang), die sie aufforderten, Verkehrssituationen hinsichtlich ihrer Komplexität auf einer Skala von 0 bis 100 zu beurteilen. Um die Probanden hierbei zu unterstützen und trotz individueller Unterschiede eine vergleichbare Bewertung zu erhalten, wurde eine Skala vorgelegt, die einige Kriterien und die zugehörigen Werte vorgab. Sie ist in Abb. 4.4 gezeigt und verwendet Farben und sprechende Bilder, um von den Probanden leichter verinnerlicht zu werden. Die Bewertungen der Komplexität wurden nicht anhand der individuellen Verteilung der Probanden z-transformiert, aus dem folgenden Grund: Alle Probanden wurden so ausgewählt, dass eine Fahrerfahrung von mindestens 10 Jahren (Halten der Fahrerlaubnis) bzw. 5000 km/Jahr vorlag. Ausgehend von dieser Erfahrung wurde die jeweilige Situation durch die Probanden bewusst auf der zu Beginn der Fahrt eingeführten Skala (Abb. 4.4) eingeordnet.

Die Probanden kannten zu jeder Zeit den Zweck der Untersuchung; ihre Aussagen wurden mit ihrem Einverständnis aufgezeichnet. Eine Kamera (Canon HF G10 [21]), die rechts neben der Kopfstütze des Fahrers angebracht war, zeichnete die durchfahrenen Situationen auf.

Zu Beginn der Fahrt wurde ein ausgewählter Ring aus Straßen in einem ruhigen Wohngebiet dreimal durchfahren (Dauer ca. 15 min insgesamt), um die Probanden an das Fahrzeug und die Testsituation zu gewöhnen. Anschließend startete die Messphase, wobei die zu fahrende Strecke durch den Testleiter vorgegeben wurde, der von der Rückbank aus Geräte und Test überwachte. Nach den Abschnitten „Autobahn“, „Landstraße“ und „Innenstadt“ wurde ein Parkplatz angefahren, und der Proband wurde aufgefordert, den eben gefahrenen Abschnitt nach Komplexität zu bewerten. Er oder sie wurde ebenfalls gebeten, besonders anspruchsvolle Situationen und ihre Eigenschaften zu nennen.

Die Fahrt, die abhängig von Verkehrslage und Fahrweise insgesamt etwa zweieinhalb Stunden dauerte, endete am Ausgangspunkt.

4.4 Labortests zur psychologischen Blendung

Psychologische Blendung durch Gegenverkehr ist ein wichtiges Forschungsthema in der Lichttechnik (siehe bspw. [92, 93] und auch Abschnitt 3.1.2). Zudem ist sie einer der hier untersuchten Einflussfaktoren. Um den Einfluss dieser wichtigen Variable besser einschätzen zu können, wurde sie in einer eigenen Testreihe untersucht, in der allein der Einfluss der Blendung auf das Stressempfinden gemessen wurde [70]. Das Test-Setup wird zum einen früheren Experimenten entlehnt, um eine gute Vergleichbarkeit mit diesen zu gewährleisten, zum anderen werden Abmessungen und Technologie heutigen Begebenheiten angepasst. Eine Neuerung stellt die Mes-

Die Skala

Bitte benutzen Sie die folgende Skala als Orientierung

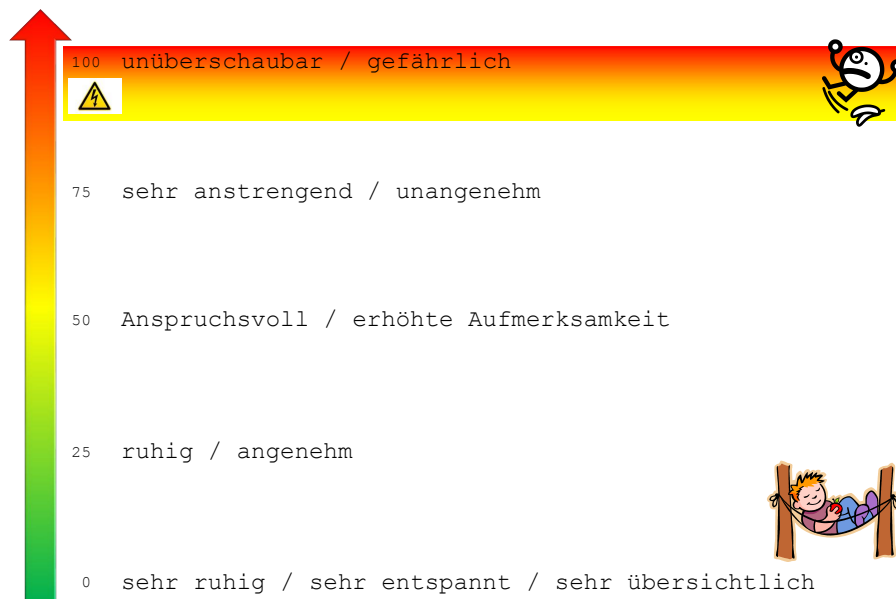


Abbildung 4.4.: Skala zur Bewertung der Komplexität durch die Probanden.

sung physiologischer Signale zur Messung des Stressempfindens dar (siehe Abschnitt 3.4). Das Gerät Par-Port/F wurde wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben verwendet, jedoch konnte in diesem Fall die Hand gewählt werden, an der die EDA-Messung vorgenommen wurde. Es wurde jeweils die Hand gewählt, die nicht die sog. *dominante Hand* des Probanden war, bei Rechtshändern also die linke Hand. Durch die meist geringere Ausprägung von Hornhaut an der *subdominanten Hand* kann die Leitfähigkeit der Haut leichter gemessen werden. Es wurde kein EOG gemessen, da der Fixationsbereich hier festgelegt war.

I / A	L /cd/m ²
0,001	1212
1	1.514.784
0,1	182.323
0,05	91.809
0,8	1.254.664
0,5	832.867
0,025	45.658
1	1.514.784
1,35	1.932.568
0,01	17.662

Tabelle 4.3.: Mögliche Wiedergabereihenfolge des Blendreizes

Der Aufbau wurde analog zu Testreihen von Bullough u. a. [20] sowie Schmidt-Clausen u. Bindels [92, 93] gewählt: Die Testperson saß in einer Entfernung von 3 m vor einer Leinwand, auf die ein abgedunkeltes Bild einer Landstraße bei Nacht aus Sicht eines Autofahrers projiziert wurde. Die Hintergrundleuchtdichte betrug $0,8 \text{ cd/m}^2$. Bild und Leuchtdichteverteilung der Landstraße sind in Abb. 4.5 dargestellt. Die Ausdehnung eines Frontscheinwerfers wurde mit ca. 25 cm angenommen, was einen Sichtwinkel von 8,6 Bogenminuten in einer Entfernung von 100 m bedeutet. Für die benötigte Ausdehnung einer entsprechenden Lichtquelle in einer Entfernung von 3 m folgt dann 0,75 cm. Die Entfernung des Kopfes des Autofahrers zum Scheinwerfer auf dem linken Fahrstreifen (linker Frontscheinwerfer des entgegenkommenden Fahrzeugs) beträgt ca. 2,5 m, oder 1.43° bei 100 m, was eine resultierende Entfernung von 7,5 cm nach links vom projizierten Fluchtpunkt im Labor bedeutet.

Im Gegensatz zu den o.g. Untersuchungen wurden die Probanden gebeten, die *inverse DeBoer-Skala* zu verwenden, da diese intuitiver ist: Je höher die psychologische Belastung, desto höher der Wert auf der Skala.

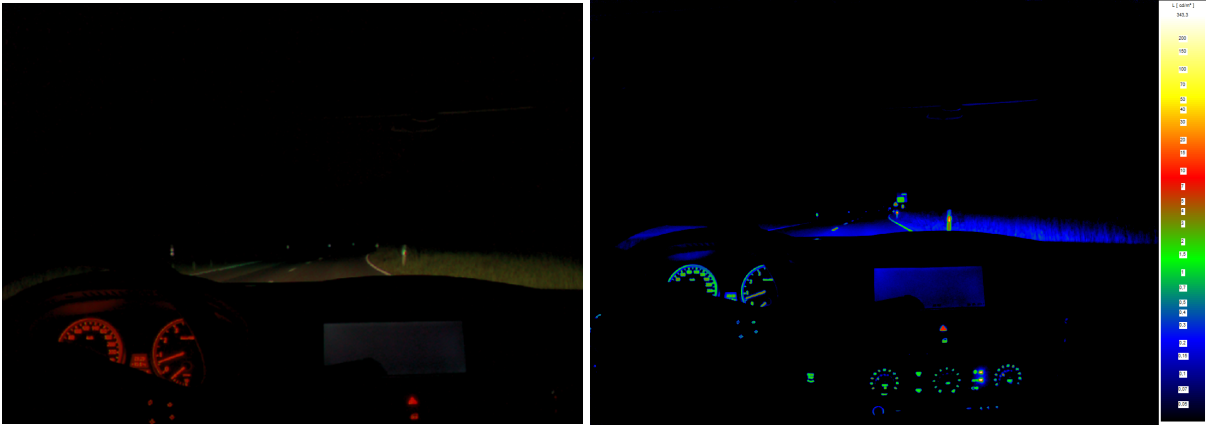


Abbildung 4.5.: Hintergrundbild bei den Blendungsversuchen. Links: Angezeigte Fotografie der nächtlichen Landstraße, Rechts: Leuchtdichteverteilung auf der Landstraße.

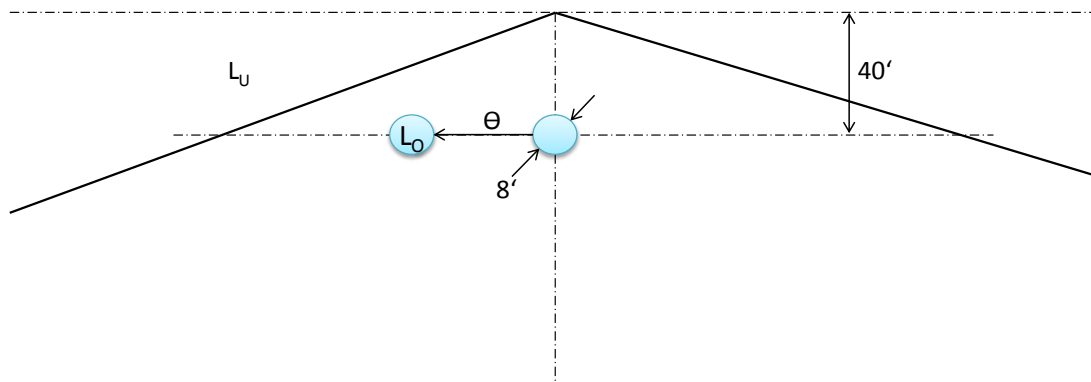


Abbildung 4.6.: Schema zur Anordnung des Blendreizes.

Der Proband wurde gebeten, auf einen markierten Punkt im Zentrum des Bildes zu schauen, den Fixationspunkt, den ein Autofahrer bei Nacht auf der Landstraße nach Diem [27] anschaut. Die Straßenumgebung Landstraße wurde gewählt, da hier der Einfluss der Blendung durch Gegenverkehr am größten ist. Auf Autobahnen ist die Fahrbahn des Gegenverkehrs baulich getrennt von der eigenen Fahrbahn, zusätzlich werden oft Maßnahmen zum Blendschutz getroffen. Im städtischen Umfeld herrscht durch Straßen- und Gebäudebeleuchtung eine höhere Umfeldleuchtdichte. Auf Landstraßen herrscht nachts eine Umgebungsleuchtdichte von etwa $L_U < 0.03 \text{ cd/m}^2$ und entgegenkommende Fahrzeuge passieren das eigene Fahrzeug unmittelbar links neben dem eigenen Fahrstreifen – immer ausgehend von Rechtsverkehr.

In einem Blickwinkel von $\theta = 1,43^\circ$ nach links und 40 Bogenminuten nach unten wurde eine LED angebracht, die in verschiedenen zeitlichen Abständen mit neun verschiedenen Helligkeiten zwischen ca. 1000 cd/m^2 und ca. 2 Mcd/m^2 leuchtete. Die Werte sind in Tabelle 4.3 sowie im Anhang in A.3.1 mit Eingangsstrom und entsprechenden physikalischen Strahldichten dargestellt. Der höchste Wert reicht an die Größenordnung der Leuchtdichte eines LED-Scheinwerfers von etwa 25 Mcd/m^2 fast heran (Messungen am Fachgebiet Lichttechnik, Stand 2011). Das Schema zur Anordnung der Blendquelle ist in Abb. 4.6 dargestellt; Abb. 4.8 zeigt eine Aufnahme des Experimentaufbaus.

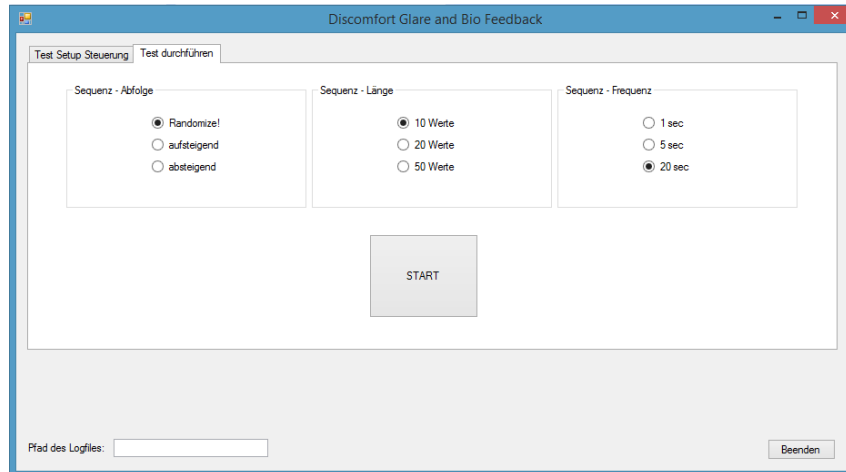


Abbildung 4.7.: Software zur Steuerung der Blend-LED

Die Darbietungsdauer des Reizes betrug 5 Sekunden, der Zeitabstand zwischen zwei Blendreizen 20 Sekunden. Wenn die Leuchtdichte des Blendreizes 800.000 cd/m^2 oder höher war, wurde der Zeitabstand auf 40 Sekunden erhöht. Die Reihenfolge der neun verschiedenen Helligkeiten wurde vor dem Start eines jeden Versuches per Zufallsgenerator festgelegt. Der Blendreiz für den Eingangsstrom 1 A (ca. $1,5 \text{ Mcd/m}^2$) wurde zweimal dargeboten, um herauszufinden, ob die Darbietungsreihenfolge eine Auswirkung auf die Bewertung des Blendreizes hat. Diese Sequenz wurde dann fünfmal wiederholt, wobei die Testperson aufgefordert war, die psychologische Blendung auf der inversen deBoer-Skala zu bewerten (Tabelle 2.1, Seite 8).

ID	Alter	Geschl.
1	51	m
2	30	w
3	30	m
4	25	m
5	28	m
6	29	w
7	29	m
8	33	m
9	43	m
10	32	m
11	30	m
12	32	m
13	34	m
14	32	m
15	35	m
16	33	w
17	30	m

Tabelle 4.4.: Probanden der Blendungstestreihe

Insgesamt dauerte ein Testdurchlauf 40 Minuten. Die Testperson wurde zunächst an das Messgerät für das physiologische Feedback angeschlossen, sodass Herzfrequenz und Hautleitwerte aufgenommen werden konnten. In den ersten zehn Minuten der Untersuchung wurde noch kein Blendreiz dargeboten – die Probanden sollten sich an dieser Zeit an die Testumgebung gewöhnen, ihre Augen sollten in gewissem Maße an die Dunkelheit angepasst sein. Zusätzlich wurde in dieser Zeit die Baseline für die spätere Auswertung der Biosignale aufgenommen. Anschließend wurden die insgesamt 50 Blendreize in der oben beschriebenen Weise dargeboten. Helligkeit und Reihenfolge der LED-Anzeige zur Blendung wurden durch eine für dieses Experiment entwickelte Software gesteuert, die die angezeigten Werte und Zeiten auch in einer Log-Datei festhielt. Ein Screenshot ist in Abb. 4.7 dargestellt.

Die Probanden bewerteten die psychologische Blendung auf der inversen deBoer-Skala (s.o.), wobei sie angehalten waren, die Hand mit den Elektroden zur Messung der Hautleitwerte möglichst still zu halten. Es war den Probanden ausdrücklich erlaubt wegzuschauen, wenn die Blendung zu unangenehm wurde. Wenn ein Proband eine Bewertung abgab, wurde diese vom Testleiter über die Marker-Funktion des Bi datenmessgerätes gespeichert. Das Probandenkollektiv dieser Testreihe setzte sich wie in Tabelle 4.4 gezeigt zusammen. Alle Probanden wurden im Vorlauf zu Sehschwächen befragt und auf Farbfeldsichtigkeit untersucht.

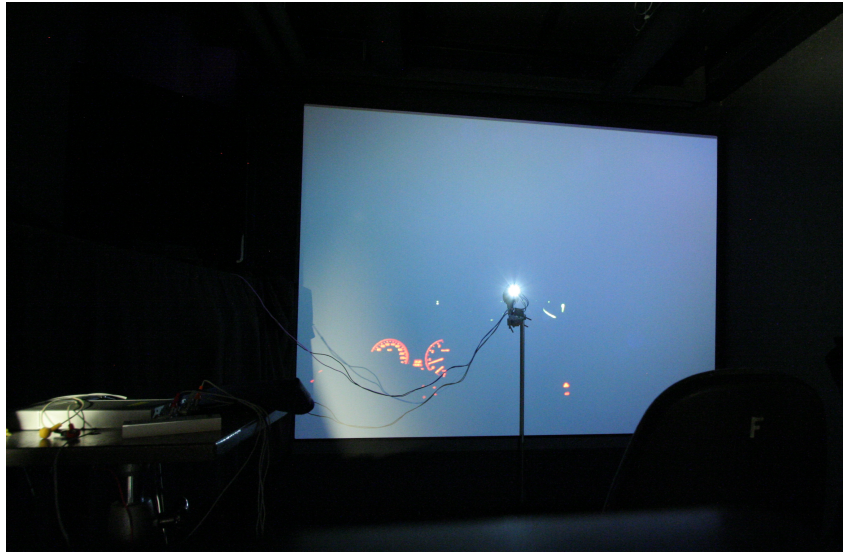


Abbildung 4.8.: Aufbau des Blendungsexperiments

In diesem Experiment wurde nur eine Art von Reiz verwendet, sodass Störeinflüsse, also die Auswirkungen anderer Reize auf das Stressempfinden, ausgeschlossen werden konnten.

4.5 Fahrsimulatorstudie zum Stressempfinden

Die Fahraufgabe allein ist bereits eine komplexe Tätigkeit [22]. Um die Kombination von Fahraufgabe im dunklen Straßenumfeld mit ausgewählten Lichteinflüssen zu untersuchen, wurde eine Versuchsreihe am Fahrsimulator durchgeführt.

Diese Studie wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Arbeits- und Ingenieurpsychologie der TU Darmstadt durchgeführt. Im Rahmen einer Masterarbeit wurde durch Boller [9] am Fahrsimulator untersucht, ob die Messung des Antikörpers Immunglobulin A (IgA) als Indikator für wahrgenommenen Stress geeignet ist. Testparameter und Testablauf wurden gemeinsam erarbeitet.

Neben den in Abschnitt 4.5.3 näher erläuterten Lichteinflüssen war zusätzlich eine Nebenaufgabe durch die Probanden zu bearbeiten. Dies sollte die Belastungssituation verstärken, ohne eine unzumutbare Situation zu schaffen. Die Bearbeitung einer Nebenaufgabe (Abschnitt 4.5.4) kommt einerseits im Alltag häufig vor und zeigt andererseits deutliche Änderungen im Fahrerverhalten, wie im Folgenden kurz erläutert wird.

In einer umfangreichen Literaturstudie finden Young u. Regan [125], dass die Verteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- bzw. Nebenaufgabe oft kompensiert werden kann, da einige Teile der Fahraufgabe automatisiert ablaufen. Von „Ablenkung“ sprechen die Autoren, wenn die Nebenaufgabe die Aufmerksamkeit so stark beansprucht, dass die Fahraufgabe nicht mehr wahrgenommen werden kann. Dingus u. Klauer [30] stellen fest, dass Aufgaben, bei denen wiederholt die Augen vom Straßenverkehr abgewendet werden müssen, ein höheres Unfallrisiko verursachen als rein kognitive oder auditive Aufgaben. Dabei ist das Risiko bei einem „Hand-Held-Device“ größer als bei einem Gerät, bei dem die Hände frei bleiben („hands free“). Das Risiko bleibt auch dann bestehen, wenn die Bearbeitung der Aufgabe unterbrochen werden konnte. Schömig u. a. [96] untersuchten im Besonderen die Ablenkungswirkung von Smartphones von der Fahraufgabe. Dabei traten dann Fahrfehler, hauptsächlich bei der Spurhaltung, auf, wenn die Nebenaufgabe in einem Fahrtabschnitt beendet werden musste. Konnten die Teilnehmer die

Bearbeitung zeitlich selbst bestimmen, war die Abweichung zum nicht abgelenkten Fahrer nur gering. Außerdem wurde der Nebenaufgabe in kritischen Verkehrssituationen weniger Zeit geschenkt. Aufgaben, die „hohe visuell-motorische Anforderungen“ stellen wie das Verfassen und Lesen von Texten, verursachen häufigere Fahrfehler, besonders in der Quer- und Längsführung. Die Autorinnen stellen fest, dass die Kompensationsmechanismen der untersuchten Probanden für die Bearbeitung der Nebenaufgabe ausreichen, was auch dem Umstand geschuldet ist, dass die Probanden in kritischen Situationen die Bearbeitung der Nebenaufgabe häufig aussetzten. Huemer u. Vollrath [48] stellen durch Interviews mit 287 PKW- bzw. LKW-Fahrern fest, dass sich tendenziell „bis zu 30 % (private Pkw in der Stadt) bzw. 50 % (Lkw auf der Autobahn) der Fahrzeit“ mit einer Nebenaufgabe beschäftigen. Dies wird durch die Unterschätzung des damit verbundenen Risikos begründet.

Theofanou [112] zeigt in ihrer Arbeit, dass u.a. die Leistung in einer Sekundäraufgabe, die durchschnittliche Geschwindigkeit sowie Spurhaltefehler (auf Landstraßen und Autobahnen) als Maß für die Erfassung der Ablenkung gut geeignet sind.

Zöllner [126] empfiehlt in ihrer Arbeit zur Fahrerverhaltensvalidität in Simulatoren, „bei der Messung physiologischer Daten auf angemessene klimatische Verhältnisse zu achten“. Weiterhin ist der Aufbau eines Fahrzeugmodells sinnvoll, um die Immersion der Probanden zu fördern und die Tacho-Anzeige zu realisieren. Auch ein Force-Feedback, also die Kraft-Rückkopplung von Lenkrad und Gaspedalen, wird befürwortet. Zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit einer Simulatorübelkeit (auch *simulator sickness*) wird die Verwendung einer bewegten Plattform empfohlen [126] [87].

Die Fahr Simulatorstudie wurde im Labor des Fachgebiets Lichttechnik an der TU Darmstadt durchgeführt, welches klimatisiert ist und zusätzlich im Innenraum völlig schwarz gefärbt ist. Durch diese Farbgebung und die Abschottung nach draußen (es wurde zusätzlich zur geschlossenen Tür noch schwarzer Molton verwendet) können im Labor sehr niedrige Umgebungsleuchtdichten erreicht werden. Abb. 4.10a zeigt beispielhaft die Leuchtdichteaufnahme von Leinwand (bei angezeigter Fahrstrecke) und Umfeld. Die durchschnittliche Umgebungsleuchtdichte (dunkler Außenbereich) ist hier etwa $0,01 \text{ cd/m}^2$. Das im Aufbau verwendete Eingabegerät „G27 Racing Wheel“ [63] der Firma Logitech verfügte über einen Force-Feedback-Mechanismus für Lenkrad und Pedale, der per Software eingestellt werden konnte. Durch die geringe Größe des Lenkrades war das Fahrgefühl eher das eines Sportwagens als eines „normalen“ PKW.

4.5.1 Experimentaufbau

Die Software des Fahr Simulators, VRXperience, wurde durch die Firma OPTIS World [73] zur Verfügung gestellt. Besonderheit dieser Software ist einerseits, dass Lichtverteilungskurven realer Scheinwerfer verwendet werden und bei Bedarf auch durch den Benutzer in das Programm geladen werden können. Auf diese Weise konnte eine realitätsnahe Lichtverteilung eines Abblendlichts für die Studie verwendet werden. Zusätzlich werden die Lichtstrahlen in Echtzeit während der Simulation berechnet, was ebenfalls für eine realitätsnahe Lichtverteilung im Straßenumfeld sorgte.

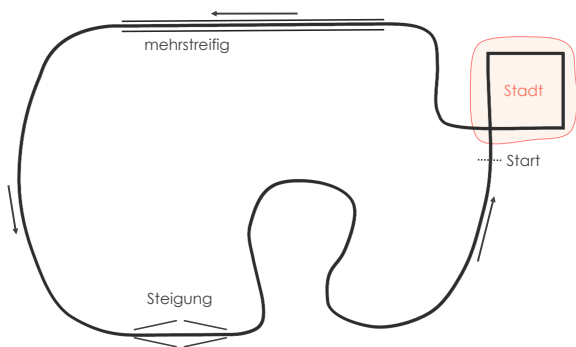


Abbildung 4.9.: Streckenverlauf im Fahrsimulator.

Der Streckenverlauf im Simulator ist in Abb. 4.9 schematisch dargestellt. Die Strecke beinhaltet Situationen im städtischen Umfeld, kurvige Landstraßenabschnitte, teils auch mit Steigung und Gefälle, sowie einen geraden mehrstreifigen Abschnitt.

Der verwendete Projektor Panasonic PT-D7700 benutzt die sog. „3-Chip-DLP“-Projektionstechnologie (*Digital Light Processing*), bei der drei mit beweglichen Mikrosiegeln (*DMD – Digital Micromirror Device*) bestückte Chips

den roten, grünen und blauen Bildanteil über eine Optik auf die Leinwand projizieren [74]. Einer der Vorteile dieser Technik im Gegensatz zu einem Projektor mit nur einem Chip und einem Farbrad ist, dass Regenbogeneffekte, die bei schnelleren Bewegungen auftreten können, vermieden werden. Bei schwarzen Bildteilen wird das nicht benötigte Licht durch die Spiegel in eine Lichtfalle reflektiert und nicht auf die Leinwand projiziert. Daher haben Projektoren mit DMD-Technologie einen sehr guten, d.h. dunklen, Schwarzwert und erreichen einen guten Simultan- und Absolutkontrast [71].

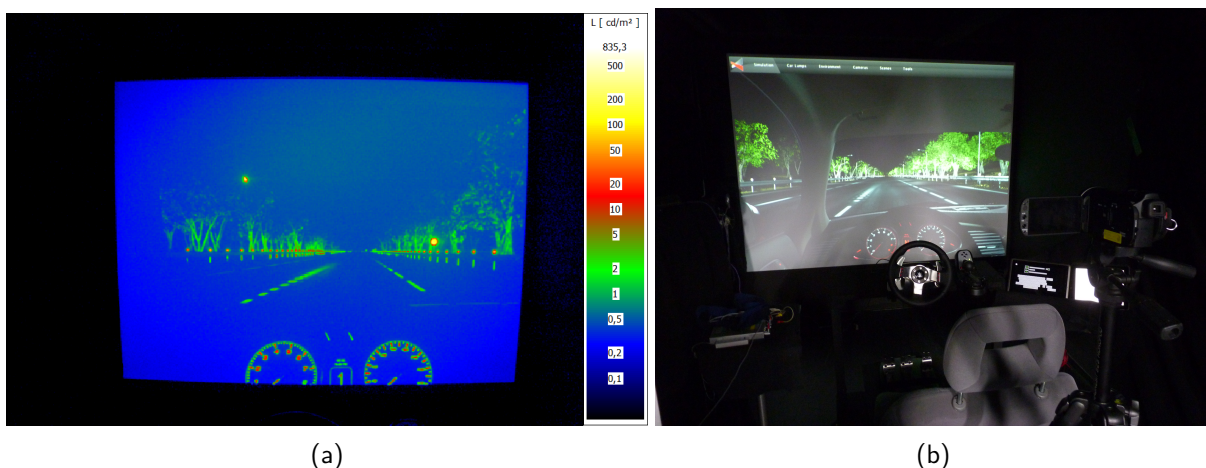
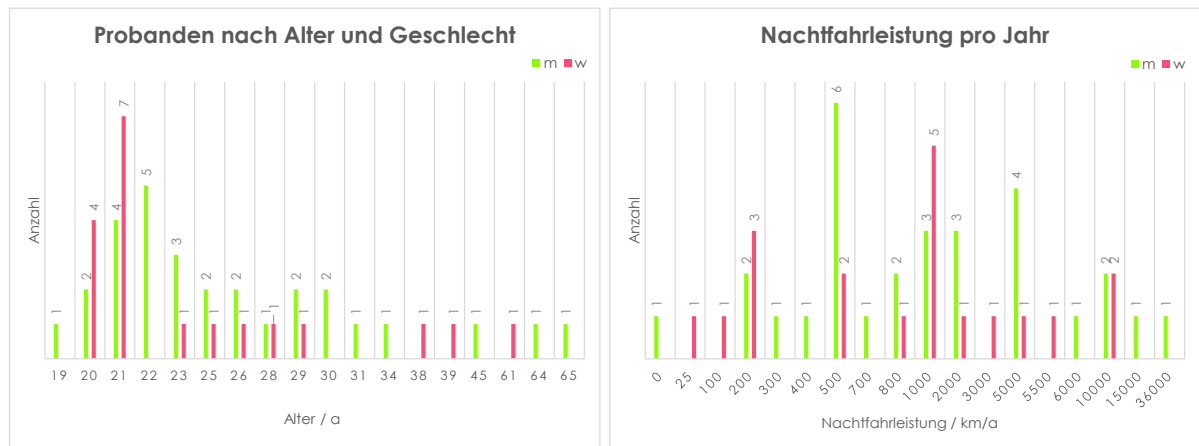


Abbildung 4.10.: (a) Die Leuchtdichteverteilung im Labor mit Darstellung einer geraden Strecke in der Simulatorsoftware. (b) Der Aufbau des Fahrsimulator-Experiments.

Die verwendete Leinwand, AV Stumpfl [5] mit einem Leuchtdichtefaktor von 1,02 (bei einem Betrachtungswinkel von 0°), hatte die Ausmaße $2,2 \cdot 1,65 \text{ m}^2$. Sie wurde auf einen Aluminiumrahmen gespannt, um Verformung und damit eine Veränderung der Reflexionseigenschaften zu vermeiden.

Um die Simulationsumgebung (Abb. 4.10b) möglichst realitätsgetreu zu halten, wurde ein Fahrersitz aus einem PKW als Sitz für die Probanden verwendet. Dieser war in Höhen- und Längsachse verstellbar, sodass alle Testpersonen dieselbe Blickhöhe (1,2 m) hatten. Die Verstellung auf der Längsachse war nötig, damit die Position relativ zu Lenkrad und Pedalen bequem durch die Probanden eingestellt werden konnte. Die Entfernung der Probanden von der Leinwand (Augenposition) betrug etwa 3 m, was eine geeignete Akkommodation im Fernbereich ermöglichte [60].



(a)

(b)

Abbildung 4.11.: Von den 60 Teilnehmern sind hier nur die 48 berücksichtigt, die den Test erfolgreich abgeschlossen haben. (a) Die Altersverteilung der Probanden. (b) Die nächtliche Fahrleistung in Kilometern pro Jahr.

4.5.2 Probandenkollektiv

Insgesamt nahmen 60 Personen an der Studie teil, deren Altersverteilung in Abb. 4.11a dargestellt ist. Bei 12 der Teilnehmer trat Simulatorübelkeit auf, weshalb deren Werte nicht verwendet werden konnten. Dies gilt auch für die nächtliche Fahrleistung (Abb. 4.11b). Bei den männlichen 29 Teilnehmern war die durchschnittliche Nachtfahrleistung knapp 4000 km pro Jahr, bei den 19 weiblichen Teilnehmern betrug sie ca. 2250 km pro Jahr. 13 der männlichen Teilnehmer trugen eine Brille, einer dieser Teilnehmer war rot-grün-blind, ebenso einer der Männer ohne Sehhilfe. Von den weiblichen Teilnehmern waren zehn Brillenträgerinnen.

4.5.3 Testparameter

Die für den Test ausgewählten Parameter waren Straßenbeleuchtung (Bedingung B), Innenraumbeleuchtung (Bedingung C) und Blendung durch Gegenverkehr (Bedingung D). Diese wurden verglichen mit Bedingung A, bei der es keine Besonderheiten gab. Als zusätzlicher Stressor wurde Bedingung E eingeführt: das Bearbeiten einer fahrfremden Tätigkeit. Die Testpersonen wurden zufällig einem Parameter (B, C oder D) zugeordnet und mussten dann vier Runden im Fahrsimulator durchfahren, welche – in ebenfalls zufälliger Reihenfolge – die Bedingungen A, AX, AE und AXE enthielten, wobei X für B, C oder D steht.



Abbildung 4.12.: Blendbedingung im Fahrsimulator.

Für Bedingung D konnte der Ablauf beispielsweise so aussehen: Zunächst wurde eine Runde ohne Besonderheiten gefahren (A), danach eine Runde, in der die Nebenaufgabe zu bearbeiten war (AE). Danach eine Runde in der neben der Zusatzaufgabe auch noch Blendung vorhanden war (ADE) und schließlich eine Runde, in der nur die Blendung vorhanden war (AD). Screenshots der vier Bedingungen A, B und C sind in Abb. 4.13 dargestellt. Die Bedingung D – Blendung entsprach der Bedingung A, wobei noch zusätzlich eine LED verwendet wurde, um höhere und damit rea-

litätsnähere Leuchtdichten zu erreichen (Abb. 4.12).

4.5.4 Nebenaufgabe: Navigationssystem

Als Nebenaufgabe wurde in Anlehnung an die in Abschnitt 4.5 vorgestellten Studien sowie an das alltägliche Verkehrsgeschehen die Eingabe von Adressen in ein simuliertes Navigationssystem gewählt. Hierzu wurde ein msi-Tablet verwendet, auf dem eine durch die Autorin dieser Arbeit programmierte Software ein Eingabefenster mit Tastatur zeigte.

Die Probanden waren in zwei der vier zu fahrenden Runden aufgefordert, kontinuierlich Adressen, die auf einem zweiten Tablet angezeigt wurden, einzugeben. Die Anzeige des 'Navigationssystems' wurde mit einer Leuchtdichtekamera von TechnoTeam des Typs LMK 98-4 vermessen. Es wurden eine niedrige Helligkeit und ein schwarzer Hintergrund gewählt, um die Adaptation der Probanden nicht zu stören. Tablet mit Anzeige sowie eine Leuchtdichteaufnahme sind in Abb. 4.14 dargestellt. Die Nebenaufgabe sollte nicht unterbrochen werden, sondern über die gesamte Runde bearbeitet werden. Für die Partnerarbeiten des Fachgebiets Arbeitspsychologie war eine Funktion integriert, die es ermöglichte, die Zeitpunkte der Eingabe von einzelnen Buchstaben und auch Löschvorgängen genau nachzuvollziehen, sodass die Eingabegeschwindigkeit sowie eventuelle Fehler zu Untersuchungszwecken verwendet werden konnten. Für die vorliegende Arbeit wurden diese Daten nicht verwendet, da die Wirkung der Nebenaufgabe selbst bereits als weiterer Faktor für die kognitive Beanspruchung verwendet werden konnte.

4.5.5 Experimentablauf

Die Testperson wurde gebeten, auf dem Sitz Platz zu nehmen und eine bequeme Position einzustellen. Nach Vorlage einer Einverständniserklärung füllte die Person einen Fragebogen zu persönlichen Eigenschaften aus. Die wichtigsten hier abgefragten Eigenschaften waren Alter, Geschlecht und Fahrerfahrung, für die Messung der Immunglobulin-A-Werte gab es eine zusätzliche Fragenkategorie, die feststellte, ob die Testperson für die Messung geeignet war.

Anschließend wurde der Proband an das Biosignalmessgerät Par-Port/F [75] angeschlossen und die Messung wurde gestartet. *HF* und *AF* wurden wie in Abschnitt 4.3.2 beschrieben gemessen, die Elektroden für die Messung der *EDA* wurden am linken Fuß angebracht, da beide Hände im Versuch benutzt werden mussten. So konnten Bewegungsartefakte minimiert werden.

Der erste Abschnitt des Experiments bestand aus einem 10minütigen Film, einem Ausschnitt aus einer Dokumentation über Buckelwale. In dieser Zeit konnte sich die Testperson entspannen und



(a)



(b)



(c)

Abbildung 4.13.: Abbildungen und Leuchtdichteverteilung der Bedingungen (a) A – keine Besonderheiten, (b) B – Straßenbeleuchtung und (c) C – Innenraumbeleuchtung.

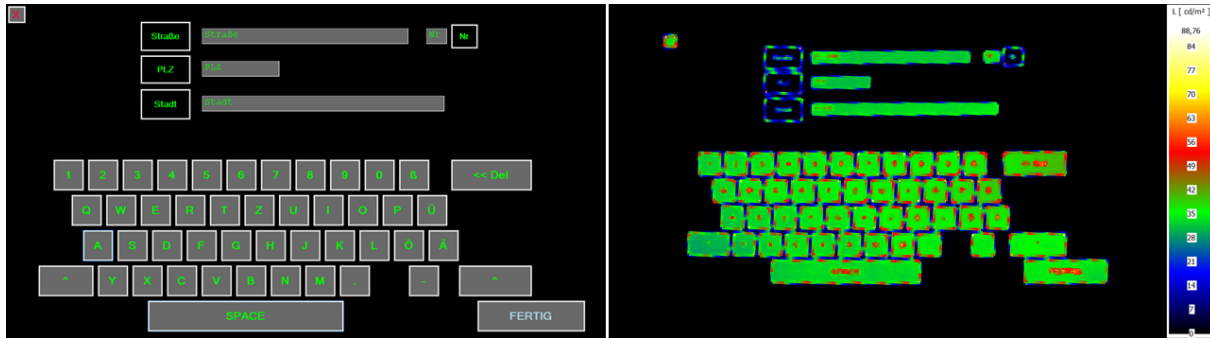


Abbildung 4.14.: Abbildungen und Leuchtdichteverteilung der Nebenaufgabe. Die Adresseingabe im simulierten Navigationsgerät wurde durch ein Tablet dargestellt.

auf die Testumgebung einstellen. Die Baseline für die biophysikalischen Signale wurde gleichzeitig aufgenommen. Nach dem Film wurden auf der Leinwand Instruktionen eingeblendet, welche mit grauer Schrift auf schwarzem Grund dargestellt wurden, um im späteren Experimentverlauf die Adaptation des Probanden an die dunkle Umgebung zu erhalten. Die vollständigen Instruktionen sind im Anhang unter A.4.1 zu finden. Darin wurde dem Probanden der Ablauf zum Entnehmen der IgA-Probe erklärt, die erste Probe wurde genommen und die Instruktion für den nächsten Abschnitt des Experiments wurde angezeigt: Die Testperson fuhr vier Runden, welche je etwa vier bis fünf Minuten in Anspruch nahmen, um sich mit Strecke und Steuerung vertraut zu machen.

Nach diesem Abschnitt folgte eine weitere Instruktion, die die fahrfremde Tätigkeit vorstellte, welche in zwei von vier Runden zusätzlich zu bearbeiten war. Dabei handelte es sich um die Eingabe von Adressen in ein nachgestelltes Navigationssystem. Die verwendete Software wurde für dieses Experiment am Fachgebiet Lichttechnik entwickelt und speicherte ab, in welcher Geschwindigkeit die Eingaben getätigt wurden und ob Fehler gemacht wurden. Sie wurde auf einem Tablet, das neben den Probanden aufgestellt war, bearbeitet. Die Anordnung ist in Abb. 4.10b auf der rechten Seite im Bild zu sehen. Die Benutzung dieses Programmes wurde zwei Minuten lang geübt, d.h. der Proband sollte in dieser Zeit so viele Adressen wie möglich nacheinander eingeben. Die Zieladressen wurden auf einem weiteren Tablet angezeigt.

Nach der nun folgenden Instruktion durchfuhr die Testperson die vier Runden, die den eigentlichen Test darstellten. Dabei wurden, wie in Abschnitt 4.5.3 beschrieben, in zufälliger Reihenfolge die fünf Bedingungen variiert: Eine Gruppe Probanden durchfuhr in zufälliger Reihenfolge Runden mit bzw. ohne Straßenbeleuchtung, bei einer weiteren Gruppe wurde die Innenraumbeleuchtung heller eingestellt und bei der dritten Gruppe wurde eine LED als Blendquelle vor die Leinwand geschoben. Die Position der Blend-LED entsprach wie bereits in den Blendungsversuchen der Position, die der Scheinwerfer eines entgegenkommenden Fahrzeuges in 100 m Entfernung relativ zum Fluchtpunkt hat. In zwei der vier Runden sollte die Nebenaufgabe durchgeführt werden. Der Ablauf war also – in immer unterschiedlicher Reihenfolge: A, AX, AXE, AE, wobei X für B, C oder D steht.

Nach jeder Runde wurde den Probanden ein Fragebogen vorgelegt, in dem sie auf einer Skala von 1 bis 6 ihren Zustand nach diesen Kriterien beurteilen sollten:

- entspannt bis unruhig
- müde
- angespannt bis gelassen

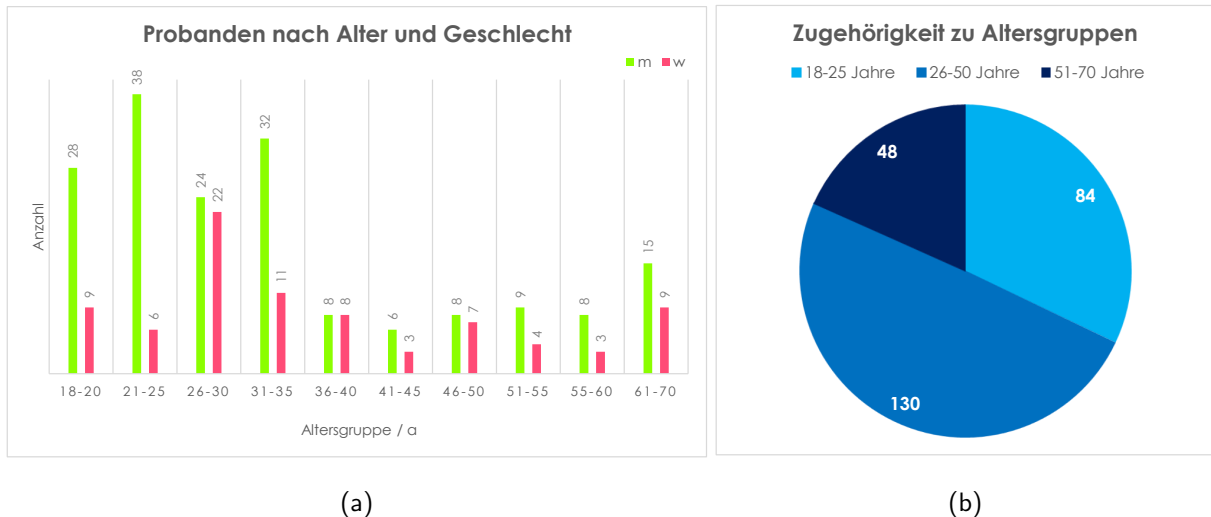


Abbildung 4.15.: (a) Verteilung von Alter und Geschlecht der Probanden, dargestellt sind nur die Teilnehmer in Besitz eines Führerscheins. (b) Gruppierung der Probanden in die Altersgruppen 18 bis 25 Jahre, 26 bis 50 sowie 51 bis 70 Jahre.

Zusätzlich wurde noch das Bewertungskriterium „einfach bis komplex“ eingeführt, das ebenfalls auf einer Skala von 1 bis 6 bewertet werden sollte. Auch eine IgA-Probe wurde nach jeder Runde entnommen.

4.6 Fragebogen zum Stressempfinden bei Nachtfahrten

Einige Einflüsse, die zur Komplexität im Straßenumfeld beitragen, konnten weder im Feldtest noch im Fahrsimulator getestet werden, da sie beispielsweise nicht reproduzierbar oder zu gefährlich gewesen wären, wie Tiere, die auf die Fahrbahn laufen. Andere Parameter wie eine regennasse Fahrbahn hätten mehrere eigene Testreihen zur Untersuchung benötigt. Daher wurde ein Fragebogen entworfen, der diese und weitere Parameter zum Inhalt hat. So wurden die Teilnehmer darin gefragt, welche Art von Lichtreklame sie in welchem Maße störend finden, und ob und aus welchem Grund sie an einem Unfall beteiligt waren. Der Fragebogen wurde im Internet unter <https://www.soscisurvey.de/nachtverkehr2014/> veröffentlicht; um Teilnahme wurde per Email, Flyer und in Vorlesungen gebeten. Er wurde von 217 Teilnehmern vollständig bearbeitet. Die Verteilung der Teilnehmer nach Alter und Geschlecht ist in Abbildung 4.15 dargestellt. Der gesamte Inhalt des Fragebogens ist im Anhang unter Abschnitt A.5.1 zu lesen.

Insgesamt haben 258 Personen, die im Besitz eines Führerscheins waren, teilgenommen, davon waren 176 männlich und 82 weiblich. Vier Teilnehmer hatten keinen Führerschein, je zwei männliche bzw. weibliche. Der Median der Altersverteilung lag im Intervall 26-30 Jahre; in dieser Altersgruppe gab es 129 Personen mit Fahrerlaubnis, was einem Anteil von 50 Prozent entspricht. Diese Gruppe wurde als Kontrollgruppe mit den Altersgruppen 18-25 Jahre (81 Personen oder 31 Prozent) bzw. 51-70 Jahre (48 Personen oder 19 Prozent) verglichen. Die Gruppe der 18- bis 25 jährigen wurde gewählt, da diese aufgrund fehlender Fahrerfahrung überdurchschnittlich oft Dunkelheitsunfälle hat (Abb. 2.13, S. 21). Die Gruppe der über 50jährigen wurde gewählt, da sich ab diesem Alter die Sehleistung nachweislich verschlechtert (siehe auch Abschnitt 3.1.2) und sie gleichzeitig in Zukunft einen größeren Anteil der Verkehrsteilnehmer ausmachen wird. Dies hat seine Ursachen vor allem in der demografischen Entwicklung: Die Menschen werden älter und die räumliche Altersstruktur ändert sich [78].

5 Auswertung der Untersuchungen

5.1 Voruntersuchung – Vokabular und Wortraum

Nach der Durchführung wurden die von den Probanden genannten und beschriebenen Situationen und ihre Beschreibungen aus den Aufnahmen notiert. Die Beschreibungen wurden dabei wortwörtlich festgehalten. Dabei wurde sichtbar, dass die durch die Testpersonen beschriebenen Situationen vor allem nach zwei Kriterien bewertet wurden: wie hell die Umgebung war bzw. in welcher Art die Umgebung beleuchtet war und ob die Umgebung unbekannt oder schwer überschaubar war bzw. bekannt und übersichtlich.

Diese Zuordnung wurde deutlich, als die Situationen und die entsprechenden Bewertungen räumlich angeordnet wurden. Es konnten zwei Achsen definiert werden: die x-Achse zur Darstellung der Lichtverhältnisse und die y-Achse für die Übersichtlichkeit bzw. Bekanntheit der Umgebung. Die genannten Szenarien wurden dann entlang dieser Achsen aufgereiht und die Bewertungen wurden entsprechend in den Feldern angeordnet. Das Resultat, ein zweidimensionaler Wortraum, ist in Abb. 5.1 dargestellt.

5.1.1 Fazit

Zusätzlich zu einer Sammlung in den Testreihen verwendbarer Ausdrücke wurden bereits Bewertungskriterien sichtbar: Die Probanden beurteilten schwierige und gefährliche Situationen im nächtlichen Straßenverkehr hauptsächlich in den Dimensionen „Helligkeit“ sowie „Übersichtlichkeit“ und „Bekanntheitsgrad der Umgebung“, wobei eine sehr dunkle Umgebung ebenso anspruchsvoll zu durchfahren ist wie eine sehr helle Umgebung, in der unter Umständen Blendung auftritt. Obwohl es sich hierbei um drei Dimensionen handelt, wird der Wortraum zur besseren Übersichtlichkeit hier zweidimensional dargestellt. Trotzdem zeigt sich deutlich die Analogie zum Komplexitätskubus (Abb. 2.5, S. 13): Die Dynamik entspricht hier der Helligkeit, die interdependente Vielfalt, also die Anzahl der möglichen Zustände, ist der Grad der Übersichtlichkeit und die Wahrnehmung entspricht der Bekanntheit der Umgebung bzw. der Notwendigkeit, eine neue Umgebung zu erfassen.

5.2 Feldtests zur Komplexitätswahrnehmung

Nach Durchführung der Feldtests lag eine umfangreiche Datenmenge in Form von Biodaten, GPS-Spuren, Befragungsergebnissen und Filmmaterial vor. Letzteres erlaubte neben Aussagen über die Sichtverhältnisse, den Straßenverlauf und die Verkehrssituation auch die Auswertung der Situationsbewertung durch die Probanden. Außerdem wurden charakteristische Situationen mit der Leuchtdichtekamera TechnoTeam LMK 98-4 aufgenommen (siehe bspw. [58, 77]).

Ein Auszug der gewonnenen Daten ist in Tabelle 5.1 gegeben. Sie wurden zunächst strukturiert und in einer Datenbank gespeichert, welche diese Struktur abbildete (Abschnitt 5.2.1).

Anschließend wurden die dominanten Einflüsse (unabhängige Variablen UV) in einer explorativen Vorab-Analyse daraufhin untersucht, ob die abhängigen Variablen (AV) eine signifikante Veränderung zeigten, was in Abschnitt 5.2.2 beschrieben wird. Aufbauend auf den Ergebnissen

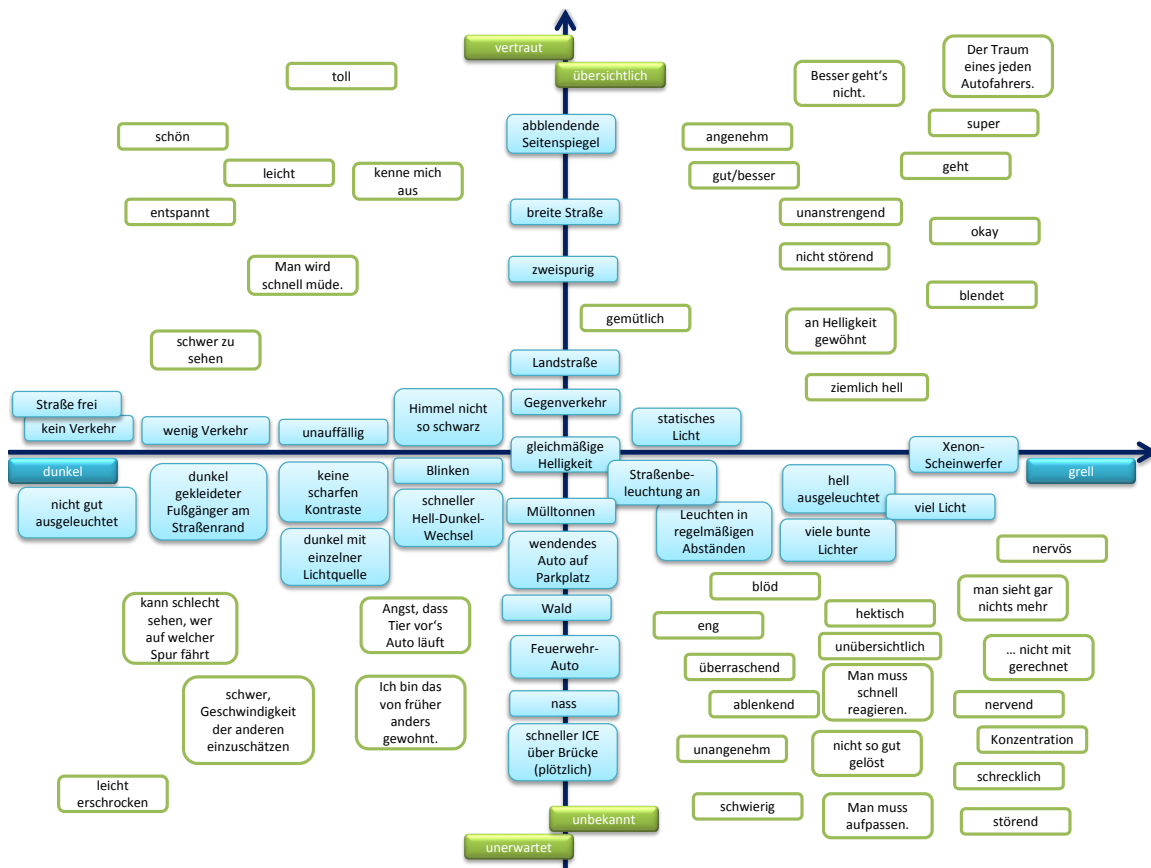


Abbildung 5.1.: Aus den bei der Voruntersuchung aufgenommenen Aussagen erstellter Wortraum.

dieser Analyse wurden die durch die Probanden bewerteten Situationen statistisch untersucht (Abschnitt 5.2.3). Als unabhängige Variablen (UV), also Einflüsse, die auf die Probanden wirkten, wurden die Menge der Lichtquellen in der Umgebung LQ , das Verkehrsaufkommen V_k , die Menge der entgegenkommenden Fahrzeuge GgV , die Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung FS , das Vorhandensein (wahr oder falsch) von Leuchtreklame Rek oder einer Videoleinwand Vid sowie die Umgebung $UTyp$, kategorisiert nach Autobahn, Landstraße und innerorts, angenommen.

Abhängige Variablen (AV) sind die Biosignale mit der Herzfrequenz HF , den Hautleitwerten SCL und SCR sowie dem Elektrookulogramm EOG . Die Werte der Biosignale HF und SCL wurden für jeden Probanden auf die Mittelwerte der individuellen Baseline-Daten bezogen, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Daher sind die dargestellten Werte dimensionslos. Für die SCR -Messung wurden die Ausschläge in den auf die Situation folgenden 15 Sekunden gezählt, für das EOG der höchste Ausschlag (in μV) in dieser Zeit.

Eine weitere abhängige Variable ist die Komplexitätsbewertung K_x einer Situation. Die gefahrene Geschwindigkeit v wird auf Tauglichkeit als abhängige Variable untersucht.

Die Auswertung der Biodaten von drei der neun Personen stellte sich als nicht möglich heraus, da Teile der Daten fehlerhaft aufgezeichnet wurden. Abbildung 5.2a zeigt das korrekte Signal neben einem beschädigten (Abb. 5.2b).

Die Daten wurden zunächst an den Hersteller des Geräts übermittelt. Auch das Gerät wurde anschließend zur Überprüfung eingeschickt, allerdings konnte der Fehler nicht reproduziert werden. Eine mögliche Ursache sind elektromagnetische Felder [51] welche allerdings nicht

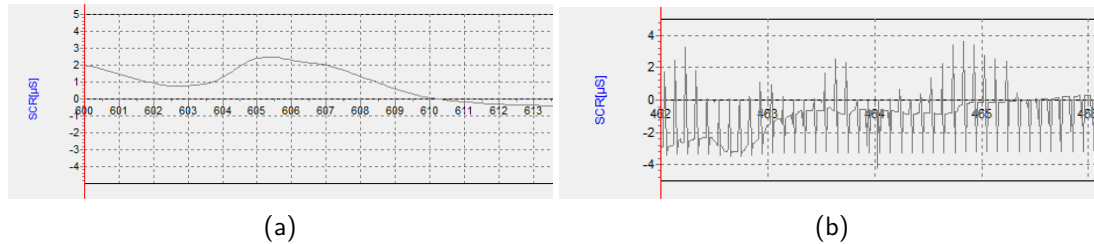


Abbildung 5.2.: (a) Das Signal der SCR. (b) Das beschädigte SCR-Signal: Man erkennt die Überlagerung eines anderen Signals, vermutlich der HF.

identifiziert werden konnten. Laut Hersteller war das Gerät ausdrücklich für Messungen im fahrenden Fahrzeug geeignet.

Tabelle 5.1.: Auszug aus den Ergebnissen der Testfahrten. Die Bemerkungen sind teils wörtliche Aussagen der Probanden, teils ergänzende Hinweise des Testleiters. Die Geokoordinaten der betreffenden Position wurden zum Zweck der Übersichtlichkeit hier entfernt.

ID	Pr_ID	Sit_ID	v / km/h	Kompl.	HF	AF	EOG	SCL	SCR	Bemerkung
152	11	132	85	57	143	43	33	1,3	0	„Schnellstraße mit vielen Häusern rechts und links; gefällt mir nicht, ist mir zu eng“
153	11	133	80	50	86	32	100	1,2	0	„sauber gekennzeichnet, aufpassen, Spur führt ins Industriegebiet“
154	11	133	80	55	86	26	23	1,4	1	roter Stuhl, viele Spuren, Schilder und Hochhäuser
155	11	134	85	52	103	21	30	1,3	0	
156	11	135	80	52	86	46	61	1,3	0	
166	11	143	40	40	93	26	34	1,4	1	
167	11	144	50	52	100	38	29	1,4	0	„GgV stört.“
168	11	145	0	55	98	50	17	1,2	0	
169	11	146	30	60	175	50	92	1,7	1	
170	11	147	40	55	86	33	49	1,4	1	
171	11	148	0	30	150	17	7	1,3	0	„Eng, aber harmlos.“
179	11	156	35	55	93	43	62	1,5	1	„Viele Lichter.“
180	11	157	30	70	93	22	15	1,6	0	

5.2.1 Datenstruktur

Um die Analyse dieser Daten zu erleichtern, wurden sie in einer Datenbank abgelegt. Das Schema dieser Datenbank – das Datenmodell – ist in Abb. 5.3 dargestellt. Die persönlichen Daten der Probanden, jedoch ohne Namen oder Adressen, wurden in der Tabelle *tbl_PersDaten* abgelegt. Neben diesen Daten wurden auch die Fahrleistung, der Gemütszustand zu Beginn des Experiments sowie die Baseline der Biosignale in dieser Tabelle abgelegt. Die Eigenschaften der bewerteten Situationen – die UV – sind in der Tabelle *tbl_SitKatalog* festgehalten, was für Situationskatalog steht. Auf diese Weise können die AV, welche in der Tabelle *tbl_Kx* gespeichert sind, den durchfahrenen Situationen zugeordnet werden, ohne die Daten der Situationen doppelt eingeben zu müssen. Auch die Position der Situation wurde in der Tabelle *tbl_Kx* abgelegt. Die Ergebnisse der Fragebögen, welche nach den drei Test-Abschnitten „Autobahn“, „Landstraße“ bzw. „innerorts“ durchgeführt wurden, sind ebenfalls in der Datenbank gespeichert, und zwar in Tabelle *tbl_ergFragebögen*. Diese ist über die Verknüpfungstabelle *tbl_FragSit* mit dem Situationskatalog verbunden, da auch in den Fragebögen eine Situation genannt werden sollte.

Die Biodaten wurden per Zeitangabe den Filmaufnahmen zugeordnet. Es wurden jeweils die auf die Situation folgenden 10 bis 15 Sekunden (siehe Abschnitt 2.6) ausgewertet. Um die Zuordnung von Biosignalen zum Filmmaterial zu erleichtern, wurde eine Software entwickelt (unter

Tabelle 5.2.: Auszug aus den Ergebnissen der Testfahrten: Situationskatalog.

ID	Straßentyp	Situation	Verkehrsaufkommen	Gegenverkehr	Fahrstreifen	Lichtquellen	Leuchtreklame
125	4 - Innerorts	enge Straße, parkende Autos	0 - keins	1 - wenig	1	1 - wenige	–
126	2 - Landstraße	entgegenkommendes FZ weit in der Mitte	0 - keins	1 - wenig	1	1 - wenige	–
127	2 - Landstraße	links abbiegen	1 - niedrig	1 - wenig	2	1 - wenige	–
128	4 - Innerorts	rechts abbiegen, viele Schilder, viele Lichtquellen	2 - mittel	3 - viel	2	3 - viele	–
129	2 - Landstraße	beleuchtete Gebäude links, Sicht auf leuchtendes Stadtgebiet	2 - mittel	3 - viel	1	3 - viele	X
130	2 - Landstraße	–	2 - mittel	3 - viel	1	1 - wenige	–
131	2 - Landstraße	Zufahrt auf rote Ampel	2 - mittel	3 - viel	2	1 - wenige	–
132	2 - Landstraße	Schnellstraße, Leitplanke blendet Scheinwerfer des GgV aus	2 - mittel	3 - viel	2	1 - wenige	–
133	2 - Landstraße	Schnellstraße, Leitplanke blendet Scheinwerfer des GgV aus; viele beleuchtete Hochhäuser, auffällige Reklame; viele Schilder; Abfahrt	2 - mittel	3 - viel	3	3 - viele	X
134	2 - Landstraße	Schnellstraße, Leitplanke blendet Scheinwerfer des GgV aus; viele beleuchtete Hochhäuser, Auffahrt v rechts	2 - mittel	3 - viel	2	1 - wenige	–
135	2 - Landstraße	Schnellstraße, Leitplanke blendet Scheinwerfer des GgV aus; beleuchtetes Gebäude vorn	2 - mittel	2 - mittel	2	2 - mittel	X
139	1 - Autobahn	Orientierung, Abfahrt rechts	2 - mittel	3 - viel	3	2 - mittel	–
140	4 - Innerorts	Stau an Ampel	3 - hoch	3 - viel	4	2 - mittel	–
141	4 - Innerorts	enge Baustelle	3 - hoch	2 - mittel	2	2 - mittel	–

Verwendung der Bibliothek ILNumerics [52]), die Film und Biodaten nebeneinander ablaufen lässt. So kann eine Situation unmittelbar den Biodaten zugeordnet werden und der Ablauf kann jederzeit angehalten werden, um Details der Szene festzuhalten (Abb. 5.4).

Die in der Datenbank gebildeten Relationen ermöglichten die Generierung von Verknüpfungstabellen durch das Ausführen von Datenbankabfragen. Auch die Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung konnte darin unmittelbar durchgeführt werden. Da es sich um lediglich sieben Probanden handelte, ist die statistische Belastbarkeit trotz der mit 678 großen Anzahl festgehaltener Situationen nur begrenzt. Daher sind die Ergebnisse als explorativ zu behandeln; eine Tendenz bei der Wahrnehmung der Umgebungsreize soll festgestellt und Schlüsselfaktoren der Komplexitätswahrnehmung ermittelt werden.

Auf diese Weise wurden die nachfolgend beschriebenen Auswertungen erstellt. Diese Ergebnisse wurden teilweise im Rahmen der Konferenz VISION 2012 vorgestellt [69].

5.2.2 Voranalyse der unabhängigen Variablen

Zunächst wurden die vollständigen Daten auf Einflüsse durch die unabhängigen Variablen (UV) Straßentyp, Verkehrsaufkommen, Gegenverkehrsaufkommen, Häufigkeit von Lichtquellen, Vorhandensein von Leuchtreklame sowie die Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung untersucht. Dabei wurde im ersten Schritt analysiert, welche der UV einander beeinflussen. Das Ergebnis, repräsentiert durch die p-Werte, ist in Tabelle 5.3 dargestellt. Ein $p \leq 0,05$ sagt aus, dass die Wahrscheinlichkeit, dass sich mindestens zwei Mittelwerte der gefundenen Verteilung signifikant voneinander unterscheiden, größer gleich 95% beträgt. Analog ist diese Wahrscheinlichkeit größer als 90 %, wenn $p \leq 0,1$. Die meisten der UV wurden durch eine zweifaktorielle ANOVA (Analysis of Variance) miteinander verglichen, wobei die Daten als unabhängige Stichprobe ohne Messwiederholung behandelt wurden (oberer Teil der Tabelle). Dies wird dadurch begründet, dass die jeweiligen UV unabhängig von den Probandeneigenschaften auftraten. Die gefahrene Geschwindigkeit jedoch ist abhängig vom Steuernden, weshalb diese Variable durch eine einfaktorielle ANOVA mit abhängigen Stichproben untersucht wurde. Dieser Wert kann je

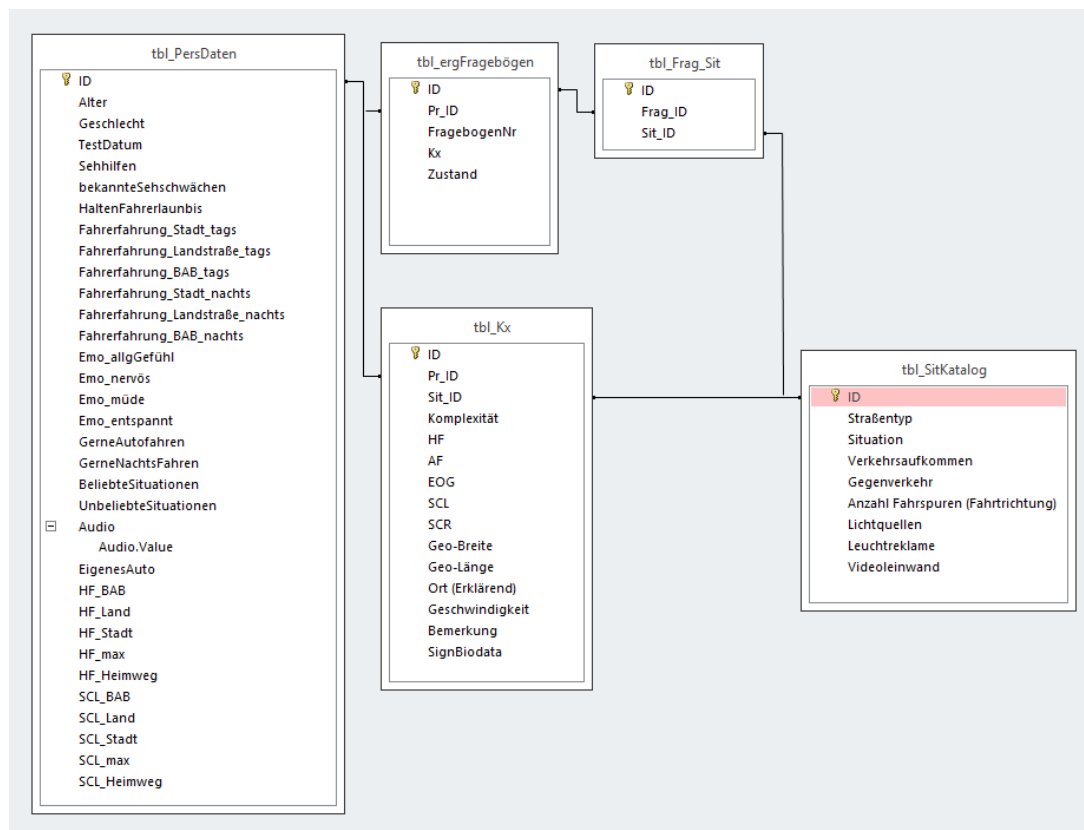


Abbildung 5.3.: Datenmodell der Messwertdatenbank.

nach Betrachtungsweise als UV oder AV gesehen werden, weshalb hier eingangs alle möglichen Einflüsse identifiziert werden sollen.

Analysiert wurde die Häufigkeit der gemeinsam auftretenden Ausprägungen der Variablen, also z.B. wie oft „viele Lichtquellen“ in der Umgebung „Landstraße“ auftraten. Die Spalten stellen in der Tabelle die Variable dar, nach deren Ausprägungen gruppiert wurde. Bei der Analyse der Geschwindigkeit wurde deren Mittelwert je Proband und UV ermittelt und für die ANOVA verwendet.

Tabelle 5.3.: Voranalyse der unabhängigen Variablen: Überblick über die p-Werte. Im oberen Bereich sind die Werte für die zweifaktorielle ANOVA der UV dargestellt, im unteren die der einfaktoriellen ANOVA der Geschwindigkeit. Werte für $p \leq 0,1$ sind hellgrün, $p \leq 0,05$ dunkelgrün dargestellt.

	Straßentyp	Gegenvk	Verkehrsaufk.	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl.
Straßentyp	–	0,572	0,775	0,935	0,905	0,790
Gegenvk	0,140	–	0,0513	0,077	0,021	0,377
Verkehrsaufk.	0,043	2,28E-04	–	4,07E-05	0,174	0,124
Lichtquellen	0,834	0,0987	0,067	–	0,555	0,938
Fahrstr.	0,627	8,92E-03	0,519	0,292	–	0,613
Leuchtrekl.	0,071	0,028	0,022	0,307	0,099	–
Geschw.	3,39E-05	6,37E-03	2,03E-06	4,27E-07	0,192	1,93E-04

Auf den ersten Blick wird deutlich, dass die Geschwindigkeit durch fast alle UV signifikant beeinflusst wird. Damit ist eine Verwendung dieses Parameters als UV ausgeschlossen. Die Gegenüberstellung Straßentyp – Geschwindigkeit ist in Abb. 5.5a dargestellt. Der Straßentyp und



Abbildung 5.4.: Analyse-Software für Biodaten mit Video: Die Biodaten und das Video laufen gleichzeitig ab. Der momentan angezeigte Wert der Biosignale ist durch die rote Linie markiert, nachdem zu Beginn des Ablaufs die Zeiten synchronisiert wurden.

das Verkehrsaufkommen zeigen einen signifikanten Zusammenhang, ebenso wie Gegenverkehr mit Verkehrsaufkommen, Fahrstreifen in Fahrtrichtung und Leuchtreklame. Auch Verkehrsaufkommen und Lichtquellen sowie Leuchtreklame hängen zusammen. Aus diesem Grund werden die weiteren Auswertungen nach Straßentyp und Verkehrsaufkommen gruppiert durchgeführt. Der Gegenverkehr, der einen starken Zusammenhang mit dem Verkehrsaufkommen zeigt, wird innerhalb dieser Gruppierung auf Abhängigkeiten untersucht.

Um einen Gesamtüberblick über die Auswirkungen der UV zu erhalten, wurden die AV explorativ auf deren Einflüsse hin untersucht. Da jede Versuchsperson mehrere ähnliche Situationen (Messwiederholungen) durchfuhr, handelt es sich hierbei um abhängige Stichproben, die wiederum interpersonell verglichen wurden. Es wurde für jede UV eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle 5.4 sind die p-Werte der durchgeführten Analysen zusammengefasst.

Tabelle 5.4.: ANOVA-Ergebnisse der Voranalyse: Überblick über die p-Werte. Werte für $p \leq 0,1$ sind hellgrün, $p \leq 0,05$ dunkelgrün dargestellt.

AV	Straßentyp	Gegenvk.	Verkehrsaufk.	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl.
Kx	0,167	0,012	0,027	0,036	0,185	0,651
HF	0,072	0,402	0,33	0,238	0,465	0,373
EOG	0,173	0,251	0,080	0,086	0,524	0,256
SCL	0,567	0,827	0,303	0,326	0,898	0,486
SCR	0,12	0,524	0,462	0,516	0,483	0,149

Die Komplexitätsbewertung K_x zeigt einen Zusammenhang mit dem Gegenverkehrsaufkommen, dem Verkehrsaufkommen und auch der Menge der Lichtquellen siehe bspw. Abb.5.5b. Die Biodaten zeigen hier, wenn überhaupt, höchstens einen schwachen statistischen Zusammenhang ($0,05 < p \leq 0,1$): Die Herzfrequenz zeigt eine über 90-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass sich ihre Werte für die verschiedenen Umgebungen unterscheiden; das EOG zeigt diese Wahrscheinlichkeit für verschiedene Verkehrsaufkommen. Aus der Voranalyse der UV wird deutlich, dass

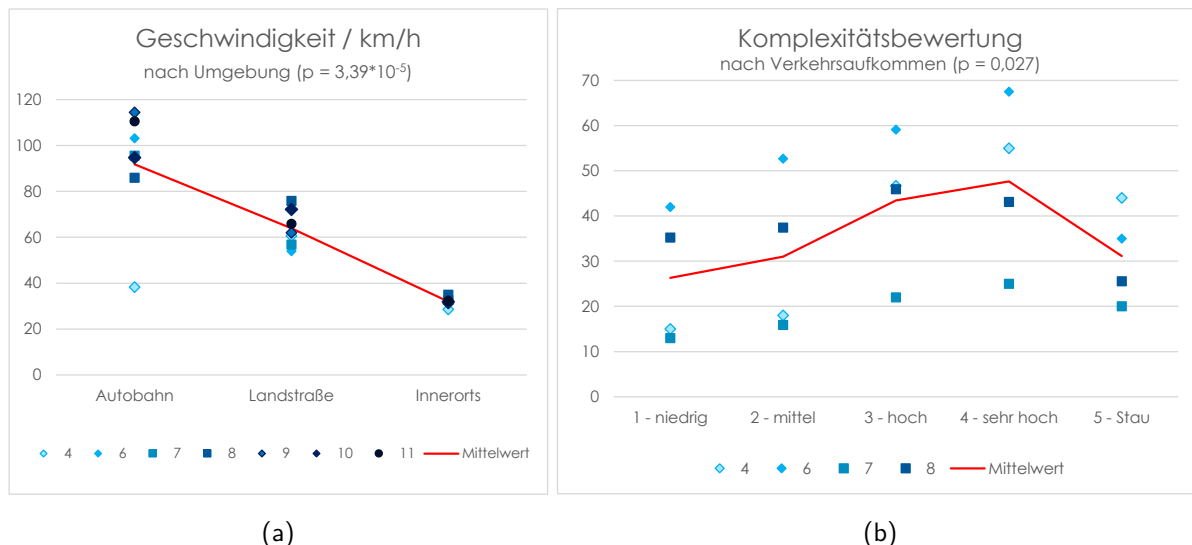


Abbildung 5.5.: (a) Die Geschwindigkeit in km/h nach Straßentyp. (b) Die Komplexitätsbewertung nach Verkehrsaufkommen. Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

der Parameter Verkehrsaufkommen mit weiteren UV zusammenhängt (Tabelle 5.3). D.h. es ist nicht sicher, dass die Auswirkungen des Verkehrsaufkommens allein den Einfluss auf die Biodaten ausüben, es kann jedoch auch nicht ausgeschlossen werden. Gleiches gilt für die Menge der Lichtquellen.

Aufgrund der Ergebnisse der Voranalyse werden die Auswertungen für die drei Straßentypen Autobahn, außerorts und innerorts separat durchgeführt. Außerdem wird zusätzlich nach dem Verkehrsaufkommen und nach der Menge der Lichtquellen gruppiert.

5.2.3 Situationsanalyse

Die abhängigen Variablen Komplexitätsbewertung K_x , Herzfrequenz HF , Elektroofkologramm EOG , die Hautleitwerte SCL und SCR sowie die Geschwindigkeit v wurden systematisch auf Abhängigkeiten untersucht. Dabei wurde zuerst analysiert, ob die Umgebung, also ob auf einer Autobahn, Landstraße oder in einer Stadt gefahren wurde, kombiniert mit einem der Parameter Gegenverkehr GgV , Menge der Lichtquellen LQ , Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung FS oder dem Vorhandensein von Leuchtreklame LR eine statistisch nachweisbare Auswirkung zeigt. Im nächsten Schritt wurden die Auswertungen noch weiter nach dem Verkehrsaufkommen unterteilt.

Für jede Parameterkombination wurde eine einfaktorielle ANOVA für abhängige Stichproben durchgeführt, da für die Probanden jeweils mehrere Situationen mit diesem Setting vorkamen. Kamen für einen Probanden oder eine Ausprägung einer UV nicht ausreichend Situationen zu dieser Kombination vor, wurden Proband bzw. Ausprägung der UV nicht berücksichtigt. Die Tabellen, in denen die Kombinationen mit den errechneten p-Werten aufgelistet sind, befinden sich in Abschnitt A.2.2 (ab S. 128) im Anhang.

Bewertungen nach Ortslage

Zunächst werden die Bewertungen der Komplexität in den verschiedenen Ortslagen (Autobahn, Basisnetz außerorts und Basisnetz innerorts) betrachtet. Bezieht man die gesamte Verteilung der

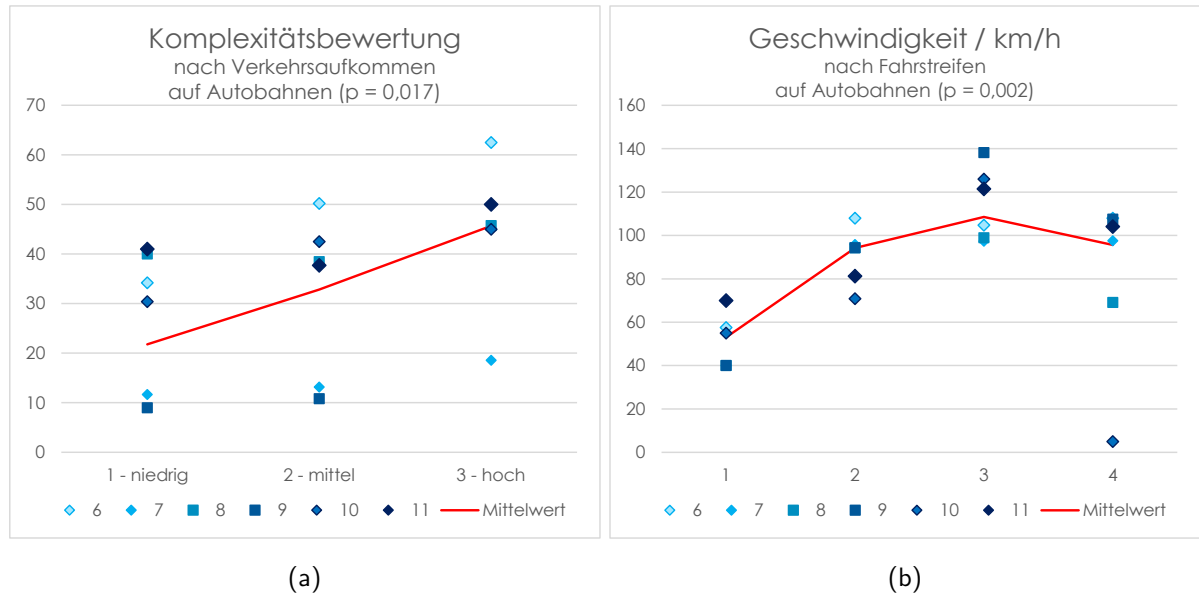


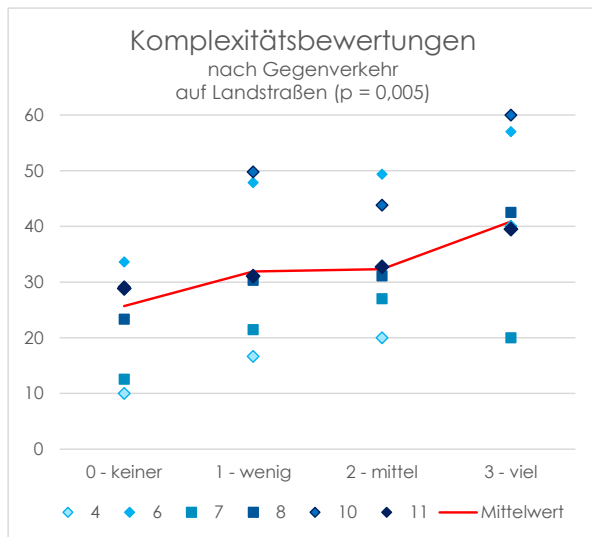
Abbildung 5.6.: (a) Die Komplexitätsbewertungen der Probanden auf Autobahnen je nach Verkehrsaufkommen in Fahrtrichtung. (b) Die Geschwindigkeit (in km/h) auf Autobahnen nach Verkehrsaufkommen. Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

Komplexitätsbewertungen aller Probanden ein (677 Nennungen), so zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Ortslagen (Daten im Anhang in den Tabellen A.1a und A.1b, S. 129). Mit ca. 71 % liegen die Bewertungen größtenteils unter 50 Punkten, was bedeutet, dass der Großteil der erlebten Verkehrssituationen in einem für die Probanden handhabbaren Bereich liegt und in der Regel keine Überbeanspruchung vorliegt.

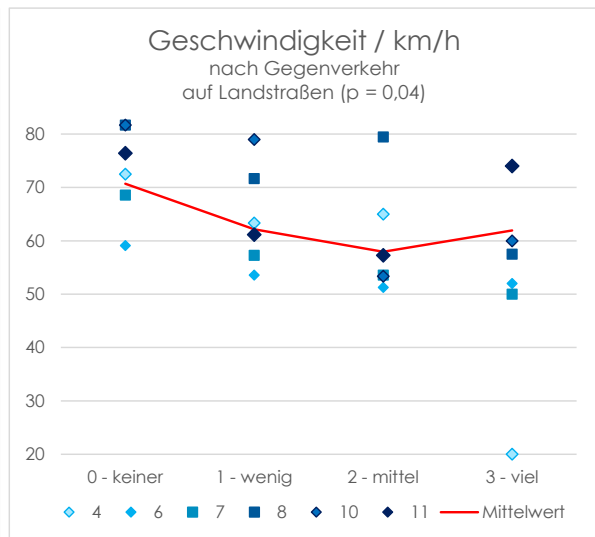
Auf Autobahnen zeigt sich bei der Komplexitätsbewertung K_x ein signifikanter Zusammenhang mit dem Verkehrsaufkommen Vk ($p = 0,017$, Anzahl Messwerte $N = 195$), ebenso bei der Kombination Geschwindigkeit v und Fahrstreifen in Fahrtrichtung FS ($p = 2,09 \cdot 10^{-3}$, $N = 214$). Die Verteilungen der Messwerte für die Probanden und gesamt ist für diese beiden Konfigurationen in Abb. 5.6 dargestellt. Auf Landstraßen ist vor allem der Gegenverkehr auffallend: Hier zeigen K_x mit $p = 4,8 \cdot 10^{-3}$ und v mit $p = 0,04$ einen Zusammenhang bei $N = 195$ Messwerten. v zeigt auch eine Abhängigkeit von der Menge der Lichtquellen ($p = 0,044$, $N = 104$), dargestellt in Abb. 5.8a. Die Verteilung zum Gegenverkehr zeigt Abb. 5.7. Innerorts zeigt lediglich K_x analysiert nach Anzahl der Fahrstreifen eine statistische Signifikanz mit $p = 0,049$ ($N = 240$), was in Abb. 5.8b dargestellt ist.

Die Biosignale zeigen keinen starken statistischen Zusammenhang zu den UV. Das EOG zeigt auf Landstraßen mit $p = 0,064$ einen schwachen Zusammenhang zum Gegenverkehr ($N = 195$). Innerorts zeigt es einen schwachen Zusammenhang zur Anzahl der Fahrstreifen ($p = 0,088$, $N = 240$). Die SCR zeigt einen schwachen Zusammenhang in der Stadt zum Gegenverkehr ($p = 0,083$, $N = 262$) und auf Autobahnen zum Auftreten von Leuchtreklame ($p = 0,103$, $N = 151$). Die Ergebnisse (p-Werte) sind in Tabelle A.2 im Anhang zusammenfassend aufgeführt.

Die Bewertungen der Komplexität der aufgetretenen Situationen wurden entsprechend ihrer GPS-Position auf einer Karte eingetragen. Die Bewertungen aller Probanden lassen sich übereinanderlegen und geben so einen Gesamteindruck wieder (siehe Abb. 5.9).

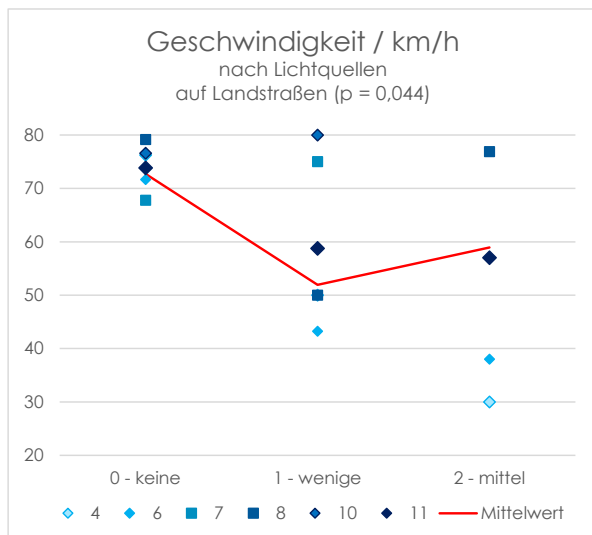


(a)

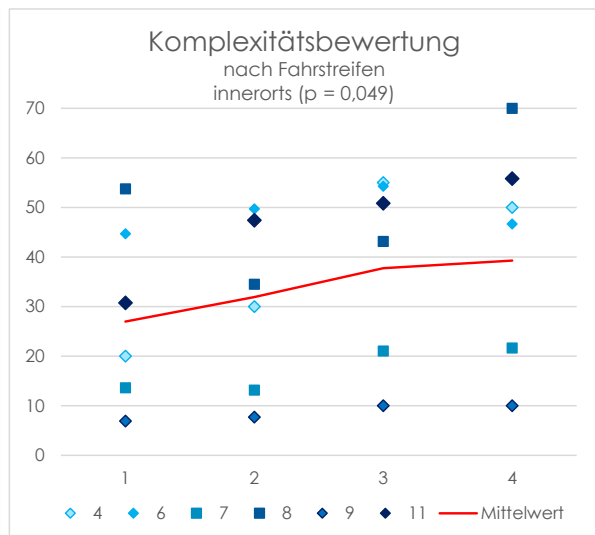


(b)

Abbildung 5.7.: (a) Die Komplexitätsbewertungen der Probanden auf Landstraßen je nach Gegenverkehrsaufkommen. (b) Die Geschwindigkeit (in km/h) auf Landstraßen nach Gegenverkehrsaufkommen. Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.



(a)



(b)

Abbildung 5.8.: (a) Die Geschwindigkeit (in km/h) der Probanden auf Landstraßen je nach Menge der Lichtquellen (ohne Gegenverkehr). (b) Die Komplexitätsbewertung innerorts nach Fahrstreifen in Fahrtrichtung. Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.



Abbildung 5.9.: Beispiel für die räumliche Zuordnung der Komplexitätsbewertungen auf der Teststrecke.

Bewertungen nach Verkehrsaufkommen in Fahrtrichtung

Anschließend wurden die Messwerte in den verschiedenen Umgebungen zusätzlich noch nach Verkehrsaufkommen aufgeschlüsselt. Damit sollte der Einfluss des Verkehrsaufkommens ausgeschlossen werden, um die weiteren UV zu untersuchen. Die Ergebnisse aller Kombinationen sind im Anhang in den Tabellen A.3 bis A.5 (S. 130) zu finden.

Auf Autobahnen zeigten folgende Kombinationen einen starken Zusammenhang ($p \leq 0,05$), dargestellt in Abb. 5.10:

- mittleres Verkehrsaufkommen und Anzahl der Fahrstreifen auf SCR: $p = 2,08 \cdot 10^{-3}$ ($N = 96$)
- hohes Verkehrsaufkommen und Anzahl der Fahrstreifen auf K_x : $p = 0,03$ ($N = 51$)

Auf Autobahnen zeigten folgende Kombinationen einen schwachen Zusammenhang ($0,05 < p \leq 0,1$):

- niedriges Verkehrsaufkommen und Menge der Lichtquellen auf v : $p = 0,069$ ($N = 11$)
- hohes Verkehrsaufkommen und Gegenverkehrsaufkommen auf K_x : $p = 0,072$ ($N = 39$)

Auf Landstraßen zeigten folgende Kombinationen einen starken Zusammenhang ($p \leq 0,05$), siehe Abb. 5.11 und Abb. 5.12:

- kein Verkehrsaufkommen und Gegenverkehrsaufkommen auf K_x : $p = 0,024$ ($N = 66$)
- kein Verkehrsaufkommen und Anzahl der Lichtquellen auf v : $p = 6,22 \cdot 10^{-3}$ ($N = 41$)
- mittleres Verkehrsaufkommen und Gegenverkehrsaufkommen auf v : $p = 0,048$ ($N = 31$)
- mittleres Verkehrsaufkommen und Anzahl der Fahrstreifen auf EOG: $p = 0,032$ ($N = 26$)

Hier ist zu beachten, dass der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Anzahl der Lichtquellen daraus resultieren könnte, dass es Bereiche gibt, welche zwar nicht innerorts liegen, aber nahe an besiedelten Gebieten entlangführen. In solchen Bereichen herrscht oft eine Geschwindigkeitsbegrenzung, welche bei niedrigem oder keinem Verkehr wahrscheinlich einen hohen Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit ausübt. Gleichzeitig kommen dort aus demselben Grund mehr Lichtquellen vor.

Auf Landstraßen zeigte folgende Kombination einen schwachen Zusammenhang ($0,05 < p \leq 0,1$):

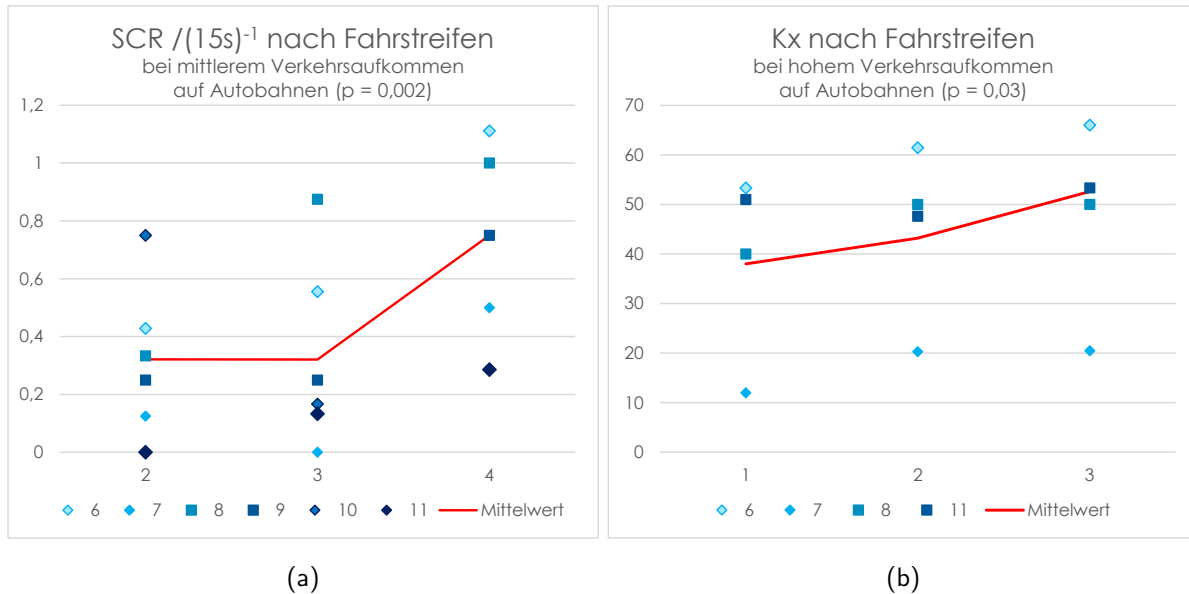


Abbildung 5.10.: (a) Werte der SCR auf Autobahnen bei mittlerem Verkehrsaufkommen je nach Anzahl der Fahrstreifen (x-Achse). (b) Die Komplexitätsbewertungen auf Autobahnen bei hohem Verkehrsaufkommen und je nach Anzahl der Fahrstreifen (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

- mittleres Verkehrsaufkommen und Menge der Lichtquellen auf *EOG*: $p = 0,064$ ($N = 18$)

Innerorts zeigten folgende Kombinationen einen starken Zusammenhang ($p \leq 0,05$), siehe Abb. 5.13, 5.14 und 5.15:

- kein Verkehrsaufkommen und Gegenverkehrsaufkommen auf K_x : $p = 0,03$ ($N = 41$)
- kein Verkehrsaufkommen und Menge der Lichtquellen auf v : $p = 0,03$ ($N = 41$)
- kein Verkehrsaufkommen und Anzahl der Fahrstreifen auf *SCR*: $p = 3,82 \cdot 10^{-4}$ ($N = 56$)
- niedriges Verkehrsaufkommen und Anzahl der Fahrstreifen auf *SCR*: $p = 0,036$ ($N = 56$)
- mittleres Verkehrsaufkommen und Menge der Lichtquellen auf K_x : $p = 0,024$ ($N = 67$)
- hohes Verkehrsaufkommen und Gegenverkehrsaufkommen auf K_x : $p = 0,02$ ($N = 33$)

Innerorts zeigten folgende Kombinationen einen schwachen Zusammenhang ($0,05 < p \leq 0,1$), teilweise dargestellt in Abb. 5.16:

- niedriges Verkehrsaufkommen und Gegenverkehrsaufkommen auf *EOG*: $p = 0,076$ ($N = 44$)
- niedriges Verkehrsaufkommen und Anzahl der Fahrstreifen auf *HF*: $p = 0,094$ ($N = 56$)
- hohes Verkehrsaufkommen und Menge der Lichtquellen auf *SCL*: $p = 0,091$ ($N = 33$)
- hohes Verkehrsaufkommen und Anzahl der Fahrstreifen auf *HF*: $p = 0,051$ ($N = 73$)
- hohes Verkehrsaufkommen und Vorhandensein von Leuchtreklame auf *SCL*: $p = 0,055$ ($N = 45$)

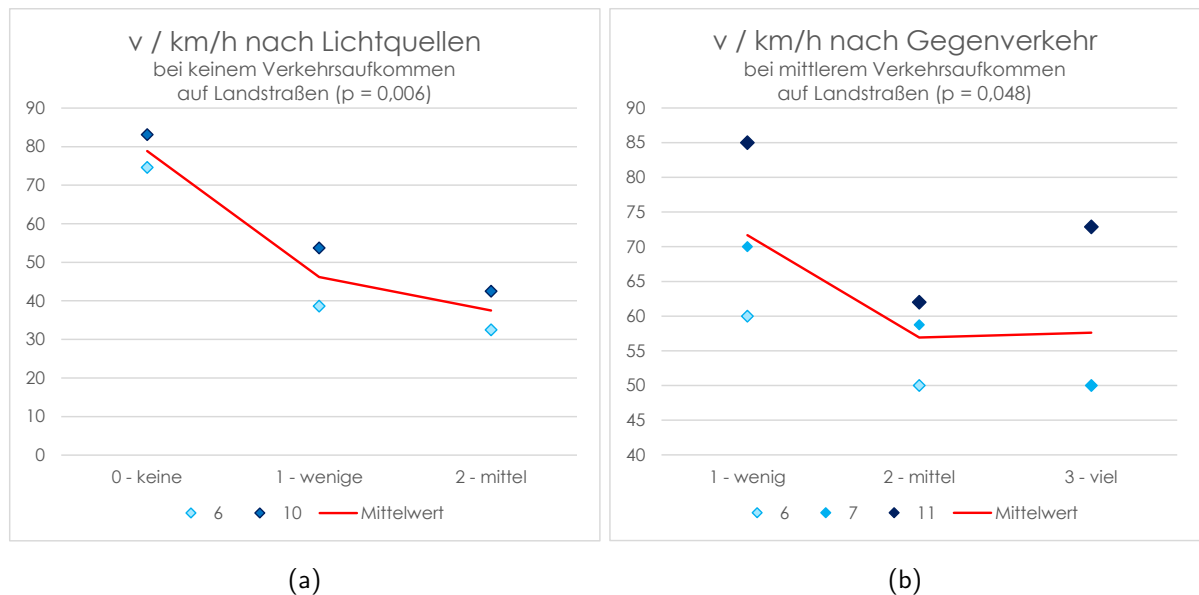


Abbildung 5.11.: Geschwindigkeit in km/h auf Landstraßen (a) ohne Verkehrsaufkommen je nach Menge der Lichtquellen (x-Achse) und (b) bei mittlerem Verkehrsaufkommen und je nach Gegenverkehrsaufkommen (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

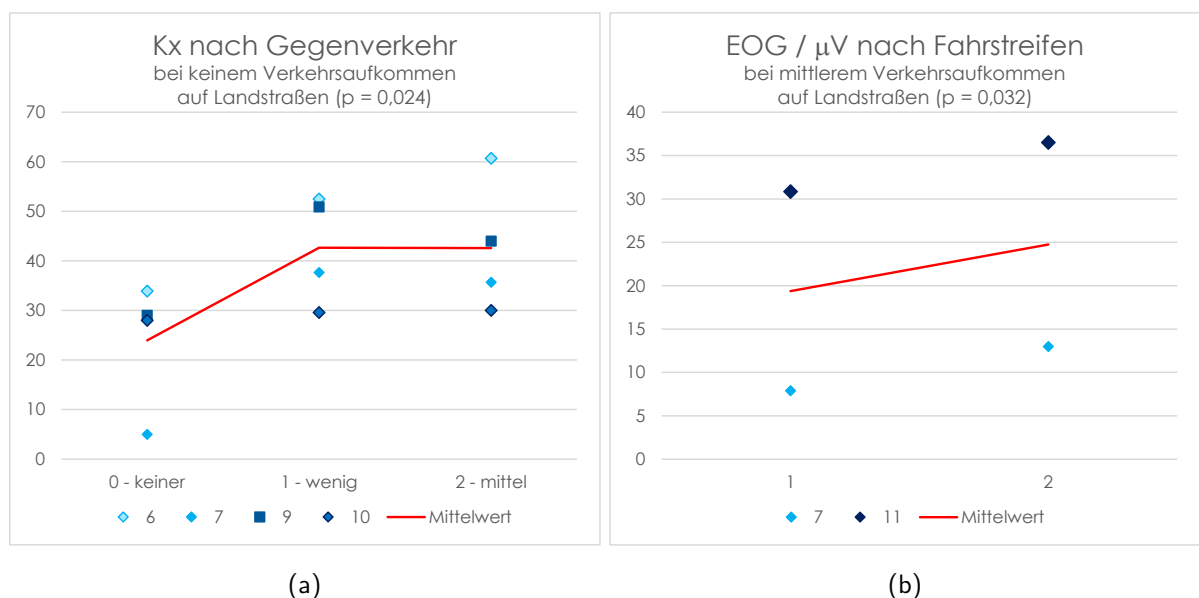
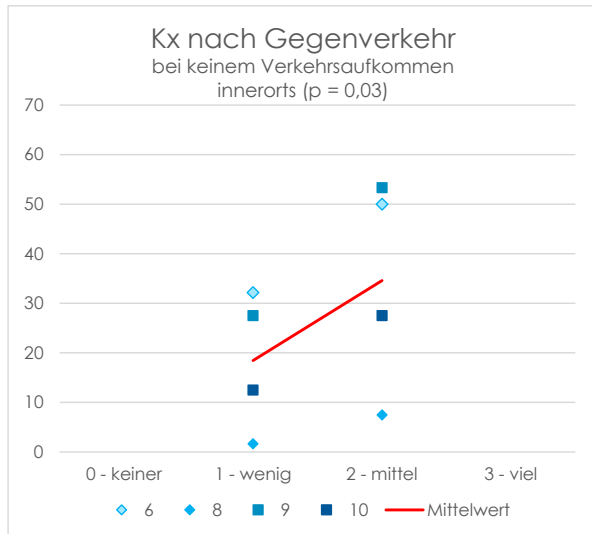
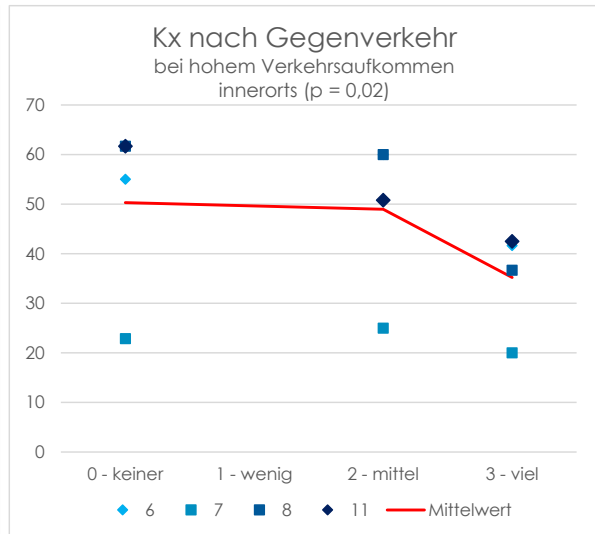


Abbildung 5.12.: (a) Komplexitätsbewertungen auf Landstraßen ohne Verkehrsaufkommen je nach Gegenverkehr (x-Achse). (b) Die Werte des EOG auf Landstraßen bei mittlerem Verkehrsaufkommen und je nach Anzahl der Fahrstreifen (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

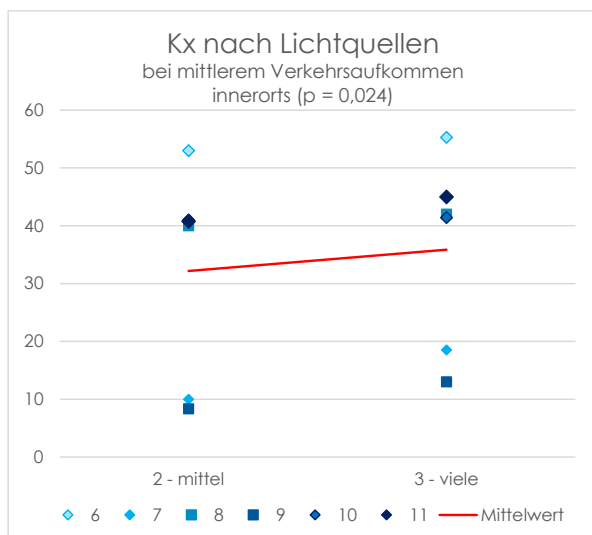


(a)

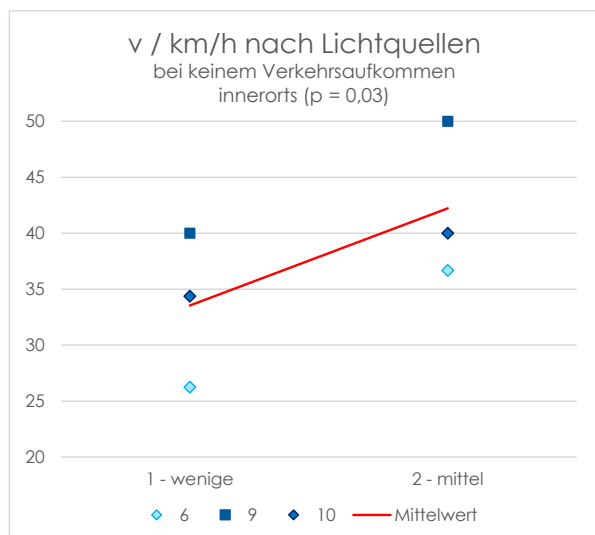


(b)

Abbildung 5.13.: (a) Komplexitätsbewertungen innerorts ohne Verkehr je nach Gegenverkehr (x-Achse). (b) Komplexitätsbewertungen innerorts bei hohem Verkehrsaufkommen je nach Gegenverkehr (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.



(a)



(b)

Abbildung 5.14.: (a) Komplexitätsbewertungen innerorts bei mittlerem Verkehrsaufkommen je nach Menge der Lichtquellen (x-Achse). (b) Geschwindigkeit / km/h innerorts ohne Verkehrsaufkommen je nach Menge der Lichtquellen (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

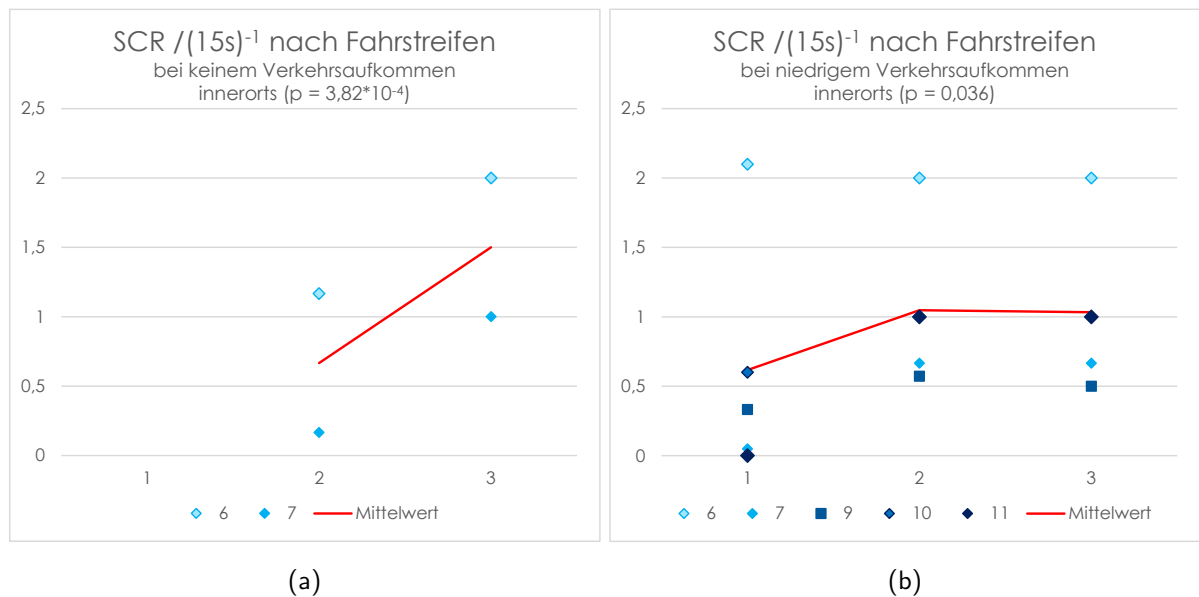


Abbildung 5.15.: Werte der SCR innerorts nach Anzahl der Fahrstreifen (x-Achse) (a) ohne Verkehrsaufkommen und (b) bei niedrigem Verkehrsaufkommen. Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

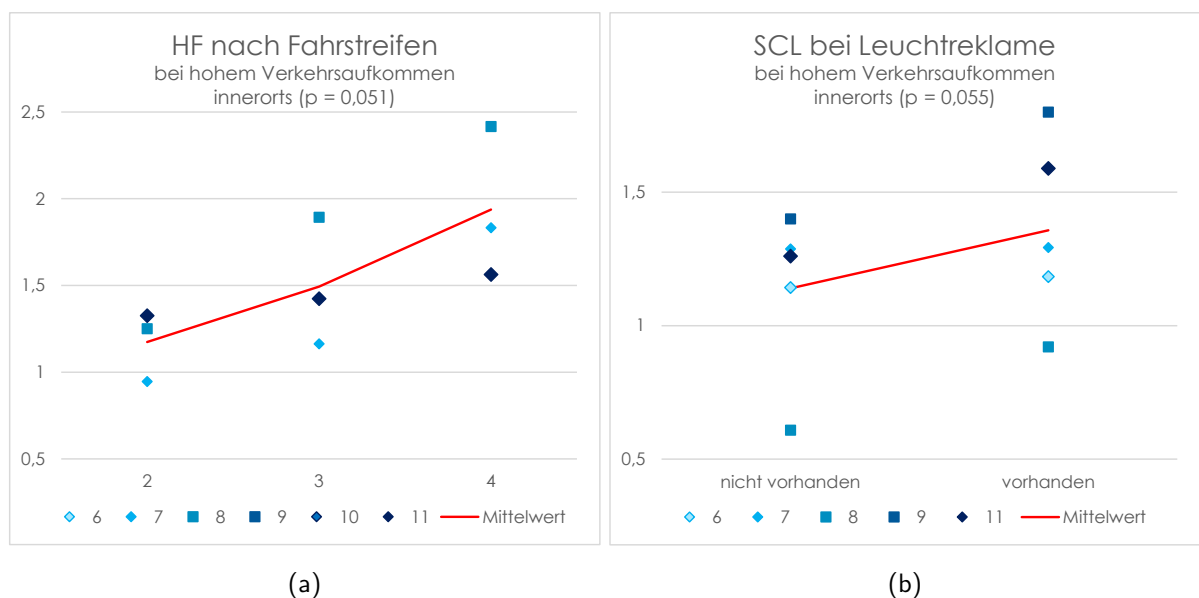


Abbildung 5.16.: (a) Werte der normierten HF innerorts bei hohem Verkehrsaufkommen nach Anzahl der Fahrstreifen (x-Achse) (a) ohne Verkehrsaufkommen und (b) Werte des normierten SCL innerorts bei hohem Verkehrsaufkommen je nach Vorhandensein von Leuchtreklame (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen. Diese beiden Verteilungen zeigen einen schwachen Zusammenhang mit $p = 0,05068$ für (a) bzw. $p = 0,05464$ für (b).

Bewertungen nach Menge der Lichtquellen

Ein weiterer Aspekt, besonders im Hinblick auf die Lichttechnik, ist die Relation der Menge der Lichtquellen in einem Szenario zur wahrgenommenen Komplexität und dem Stresslevel, auf das durch das physiologische Feedback rückgeschlossen werden kann. Die hier betrachteten Lichtquellen schließen den Gegenverkehr nicht mit ein.

Die Auswertungen der Messwerte aufgeschlüsselt nach der Umgebung und der Menge der Lichtquellen ergibt für die weiteren UV Verkehrsaufkommen, Gegenverkehr, Fahrstreifen und Leuchtreklame die folgenden Ergebnisse. Hier aufgelistet sind nur die statistischen Zusammenhänge, für die durch eine einfaktorielle ANOVA ein $p \leq 0,1$ ermittelt wurde. Alle Ergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A.6 bis A.8 (ab. S. 133) zu finden.

Auf Autobahnen zeigten folgende Kombinationen einen starken Zusammenhang ($p \leq 0,05$), siehe auch Abb. 5.17 und 5.18:

- wenige Lichtquellen und Verkehrsaufkommen auf K_x : $p = 1,205 \cdot 10^{-3}$ ($N = 47$)
- keine Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf HF : $p = 0,021$ ($N = 81$)
- keine Lichtquellen und Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung auf SCR : $p = 0,0471$ ($N = 77$)
- mittlere Menge Lichtquellen und Anzahl der Fahrstreifen auf SCR : $p = 0,0189$ ($N = 16$)

sowie folgende einen schwachen Zusammenhang ($0,05 < p \leq 0,1$):

- mittlere Menge Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf SCL : $p = 0,121$ ($N = 10$)
- mittlere Menge Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf SCR : $p = 0,126$ ($N = 10$)
- wenige Lichtquellen und Anzahl der Fahrstreifen auf K_x : $p = 0,126$ ($N = 42$)

Für Landstraßen ergaben sich die folgenden starken Zusammenhänge ($p \leq 0,05$), wie in Abb. 5.19 und 5.20a gezeigt:

- keine Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf K_x : $p = 0,038$ ($N = 57$)
- keine Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf SCL : $p = 0,033$ ($N = 57$)
- mittlere Menge Lichtquellen und Vorhandensein von Leuchtreklame auf v : $p = 8,489 \cdot 10^{-5}$ ($N = 13$)

sowie der folgende schwache Zusammenhang ($0,05 < p \leq 0,1$):

- mittlere Menge Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf v : $p = 0,0985$ ($N = 17$)

Innerorts ergaben sich die folgenden schwachen Zusammenhänge ($0,05 < p \leq 0,1$):

- mittlere Menge Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf K_x : $p = 0,114$ ($N = 58$)
- viele Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf EOG : $p = 0,076$ ($N = 58$)
- viele Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf SCR : $p = 0,114$ ($N = 58$)
- wenige Lichtquellen und Gegenverkehrsaufkommen auf v (Abb. 5.20b): $p = 0,0501$ ($N = 29$)
- mittlere Menge Lichtquellen und Anzahl der Fahrstreifen auf HF : $p = 0,0895$ ($N = 59$)
- viele Lichtquellen und Vorhandensein von Leuchtreklame auf HF : $p = 0,133$ ($N = 68$)

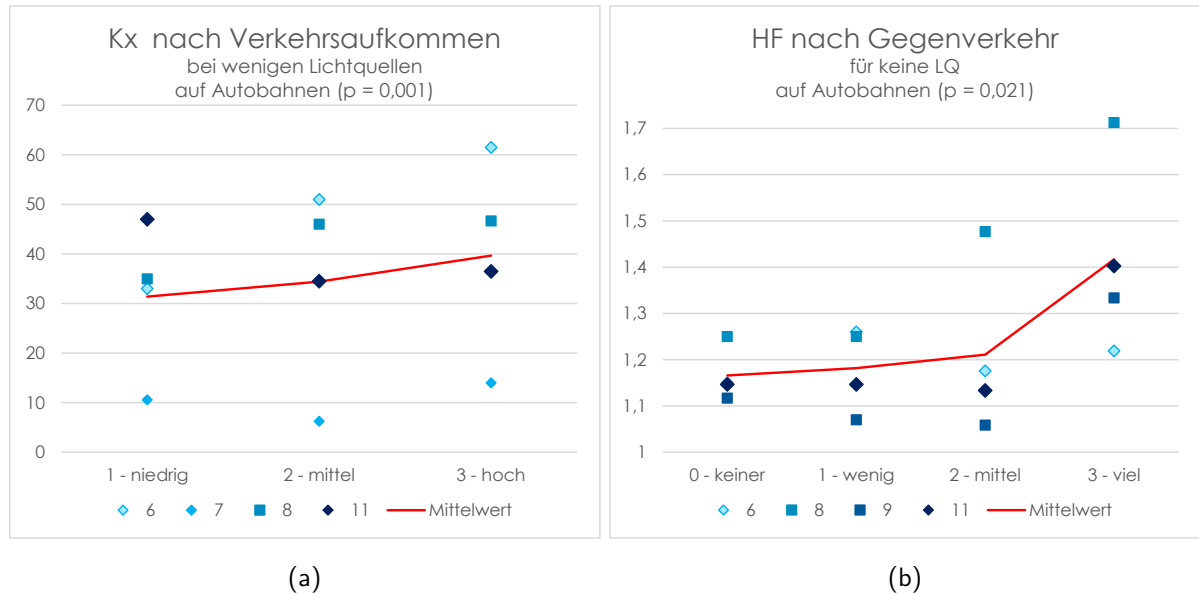


Abbildung 5.17.: (a) Komplexitätsbewertung auf Autobahnen bei wenigen Lichtquellen nach Verkehrsaufkommen (x-Achse). (b) Herzfrequenz (normiert) auf Autobahnen bei vielen Lichtquellen nach Gegenverkehr (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

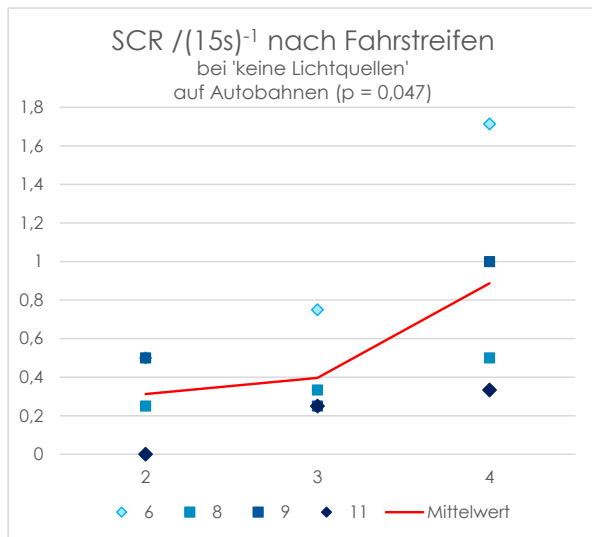
- viele Lichtquellen und Vorhandensein von Leuchtreklame auf v: $p = 0,091$ ($N = 68$)

5.2.4 Individualanalyse

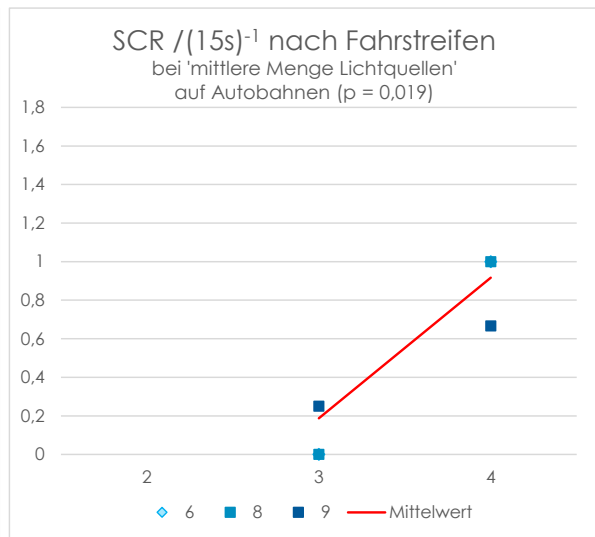
Zusätzlich zu den statistischen Auswertungen werden einzelne Situationen, die auffällig waren, gesondert betrachtet. Zum einen wurde in der Datenbank vermerkt, wenn in der betreffenden Situation Biodaten vorlagen, die für diesen Probanden auffällig hohe Werte zeigten, und das bei mindestens zwei der vier Werte *HF*, *EOG*, *SCL* oder *SCR*. Dies war bei 122 der 678 Situationen der Fall (ca. 18,1%), wobei 27 (ca. 12,2%) auf der Autobahn auftraten, 30 (ca. 15,4%) auf der Landstraße und 65 (ca. 24,8%) innerorts. Ordnet man sie der Menge der Lichtquellen zu, traten 19 (ca. 10,2%) bei Situationen ohne Lichtquellen auf, 25 (ca. 16,2%) bei wenigen Lichtquellen, 26 (ca. 23,2%) bei einer mittleren Menge an Lichtquellen und 26 (ca. 26,3%) bei vielen Lichtquellen in der Umgebung. Die Prozentangaben beziehen sich jeweils auf die Gesamtanzahl der Situationen mit einem bestimmten Setting (z.B. viele Lichtquellen). Testet man beide Verteilungen (Abb. 5.21) per einfaktorieller ANOVA auf statistische Signifikanz, so erhält man für den Straßentyp ein $p = 0,0475$ und für die Lichtquellen $p = 0,0114$. Innerhalb der Straßentypen nach Lichtquellen betrachtet ergibt sich kein statistischer Zusammenhang. Auch das Verkehrsaufkommen zeigt hier keine Auffälligkeiten.

Einige Aussagen wurden unabhängig von mehreren Probanden getätigt, andere wiederum stimmen mit den Unfallursachen aus Abschnitt 2.7 gut überein. Einige davon werden hier vorgestellt:

- „Im Trichter vor und nach Autobahnabfahrten muss man eher aufpassen.“ ($K_x = 40$)
- Beim Durchfahren eines Tals auf der Autobahnen: „Man kann weiter gucken.“ ($K_x = 20$)
- Auf einer Landstraße, halb Feld, halb Wald: „Aufpassen, vielleicht läuft ein Tier vors Auto.“ ($K_x = 30$)

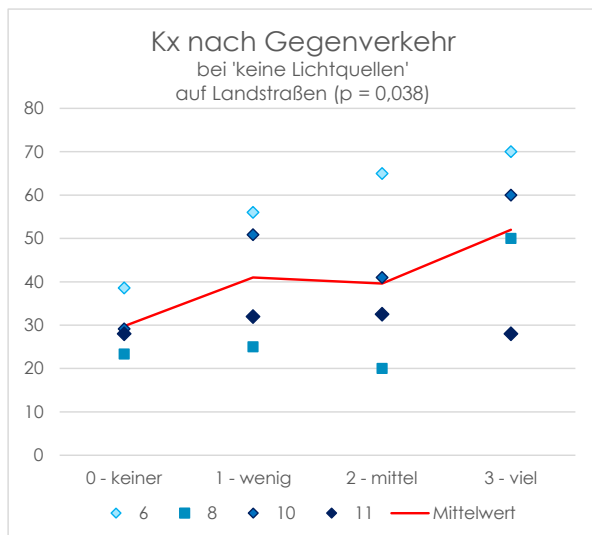


(a)

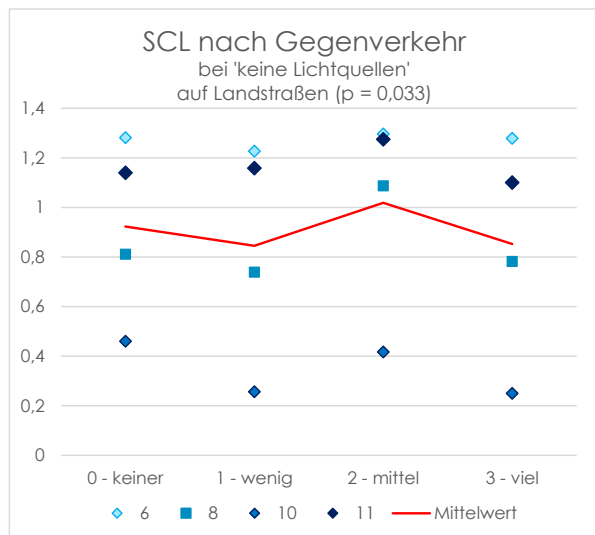


(b)

Abbildung 5.18.: Werte der SCR auf Autobahnen (a) ohne Lichtquellen in der Umgebung (b) mit einer mittleren Menge Lichtquellen nach Fahrstreifen (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.



(a)



(b)

Abbildung 5.19.: Werte der (a) K_x und (b) normierten SCL auf Landstraßen ohne Lichtquellen in der Umgebung nach Gegenverkehr (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

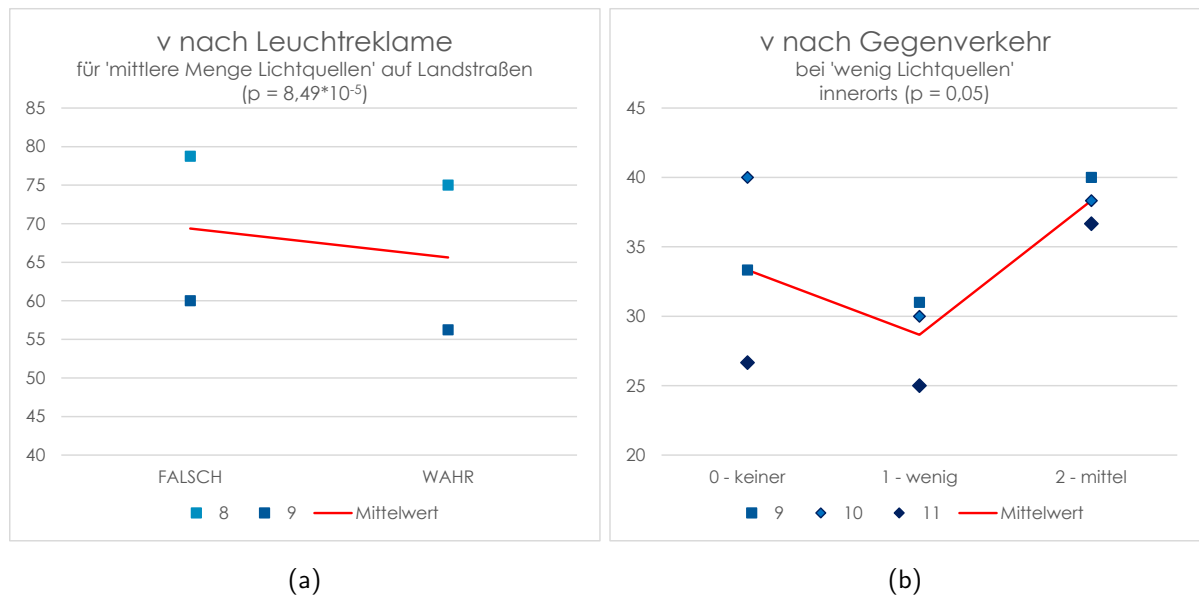


Abbildung 5.20.: Geschwindigkeit (a) auf Landstraßen mit vielen Lichtquellen in der Umgebung nach Vorhandensein von Leuchtreklame (x-Achse) (b) innerorts bei wenigen Lichtquellen nach Gegenverkehr (x-Achse). Die Punkte stellen das Personenmittel dar, die rote Linie den Mittelwert aller Bewertungen.

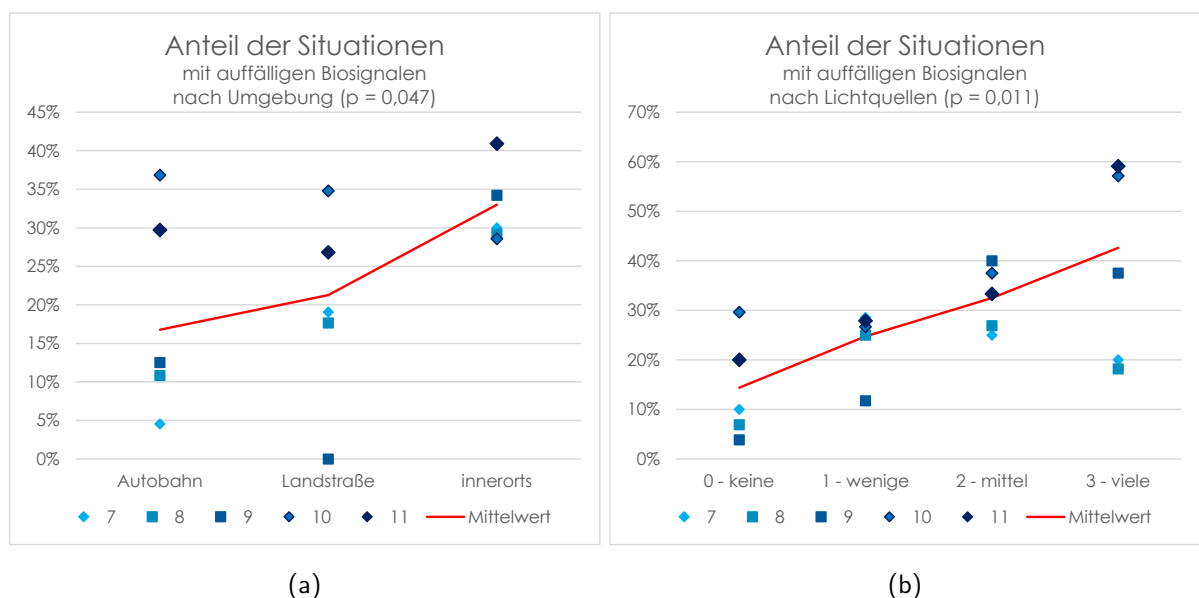


Abbildung 5.21.: Anzahl der Situationen, in denen auffällig hohe Werte der Biosignale auftraten (a) nach Straßentyp (b) nach der Menge der Lichtquellen. Die Punkte stellen die Häufigkeit des Vorkommens bezogen auf die Gesamthäufigkeit solcher Situationen in Prozent für die Probanden dar, die rote Linie den Anteil aller Situationen mit diesem Setting unabhängig vom einzelnen Probanden.

- Passieren der Konstablerwache in Frankfurt a.M.: „Eng, aber harmlos.“ ($K_x = 30$) Als bei einem anderen Probanden an derselben Stelle auch viele Fußgänger hinzukamen, war die Bewertung „Eng!“ ($K_x = 52$).
- Bergauf-Fahrt auf der Autobahn: „Man rechnet mit Autos, die einfach den Blinker setzen und rausfahren.“ ($K_x = 40$)

Enge Kurven auf Landstraßen werden eher als unangenehm bewertet. Auch in der Stadt werden enge Straßen oder Spuren angemerkt; „viele Lichter“ wirken oft irritierend. Bei einer Probandin schlugen die Biosignale im Stau deutlich aus, gleichzeitig mit der Aussage „Das nervt.“. Die Probanden gaben an, dass ein vorausfahrendes Fahrzeug ihnen die Orientierung auf der dunklen Straße erleichterte. Vor allem der Straßenverlauf war auf diese Weise besser nachzuvollziehen.

5.2.5 Fazit

Nachdem sich zeigte, dass die unabhängigen Variablen teilweise korrelieren, wurden die abhängigen Variablen nach den UV Straßentyp und weiter nach Verkehrsaufkommen bzw. Menge der Lichtquellen untersucht. In der Gesamtbetrachtung der Straßentypen zeigt sich, dass auf Autobahnen einzig das Verkehrsaufkommen einen Einfluss auf die Komplexitätsbewertung hat. Die Geschwindigkeit wird hier durch die Anzahl der Fahrstreifen geprägt. Weitere Einflüsse wurden auf der Autobahn nicht gefunden. Auf Landstraßen ist der Gegenverkehr der Einflussfaktor für die Komplexitätsbewertung. In der Stadt wird die empfundene Komplexität durch die Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung beeinflusst. Die Biodaten zeigen hier höchstens schwache Zusammenhänge.

Bei einer weiteren Gruppierung der Auswertungen nach dem Verkehrsaufkommen zeigen sich keine bemerkenswerten Änderungen zu den oben genannten Ergebnissen. In der Stadt zeigt das SCR-Signal bei keinem und niedrigen Verkehrsaufkommen einen Zusammenhang zur Anzahl der Fahrstreifen. Bei mittlerem Verkehrsaufkommen hängt die Komplexitätsbewertung signifikant mit der Menge der Lichtquellen zusammen, bei hohem und keinem Verkehrsaufkommen mit dem Gegenverkehr. Die höhere Geschwindigkeit, die innerorts bei einer höheren Anzahl Lichtquellen gefahren wird, könnte u.U. darauf zurückzuführen sein, dass schmale Anwohnerstraßen häufig eine vergleichsweise geringe Anzahl von Lichtquellen aufweisen. In dieser speziellen Umgebung sind oft am Rand der schmalen Fahrbahn parkende PKW vorhanden, was in einer erhöhten Aufmerksamkeit und geringer Fahrgeschwindigkeit resultiert. Auf Autobahnen zeigt die SCR bei mittlerem Verkehrsaufkommen einen Zusammenhang mit der Anzahl der Fahrstreifen, was für die Komplexitätsbewertung bei hohem Verkehrsaufkommen der Fall war.

Gruppiert man nach Straßentyp und Menge der Lichtquellen zeigen sich auf Autobahnen ebenfalls das Verkehrsaufkommen und die Anzahl der Fahrstreifen als Einflüsse auf die AVK_x und SCR. Wenn keine Lichtquellen vorhanden sind, hat der Gegenverkehr einen signifikanten Einfluss auf die Herzfrequenz. Auf Landstraßen zeigt der Gegenverkehr Einfluss auf K_x und SCL. Innerorts zeigen sich nur schwache statistische Zusammenhänge.

Am häufigsten zeigen insgesamt die Komplexitätsbewertung K_x und die SCR statistisch signifikante Zusammenhänge zu den UV.

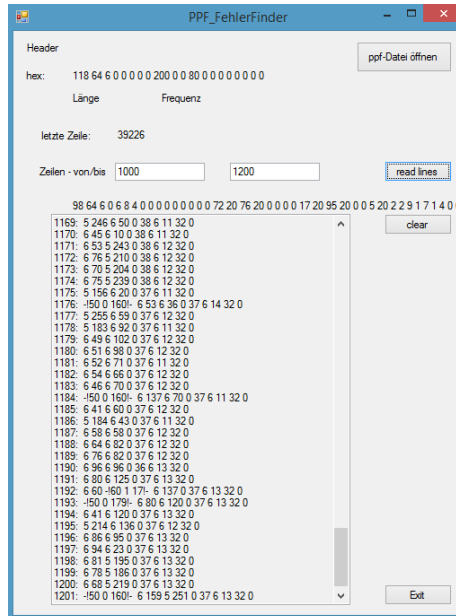


Abbildung 5.22.: Software zum Auslesen der Rohdaten der Biosignale und zum Auffinden der störenden Bytes.

5.3 Labortests zur psychologischen Blendung

5.3.1 Mathematische Analyse der Biodaten

Wie bei den Feldtests waren auch hier Teile der Daten nicht auszulesen. Nach weiterer Anfrage beim Hersteller wurde die Datenstruktur der Messwertdatei teilweise bekanntgegeben. Mit dieser Information konnte zunächst die informationstechnische Fehlerquelle identifiziert werden: An einigen Stellen wurde ein zusätzliches Byte mit Informationen in den Speicher geschrieben. Dieses konnte durch das Ausleseprogramm nicht interpretiert werden und verursachte einen Fehler bei der Datenintegration. Nun konnte ein Programm entwickelt werden, das Datenpakete dieses Formats ausfindig machte (Abb. 5.22). Eine vollautomatisierte Fehlerkorrektur war jedoch nicht möglich, da das Gerät selbst bei nicht periodischen Signalen wie dem SCR solche Datenpakete abspeicherte. Die Analyse und das Entfernen des gefundenen Bytes mussten also per Hand geschehen.

Die Daten der Feldtests konnten auf diese Weise nicht behandelt werden, da das in dieser Testreihe aufgenommene EOG ein sehr ähnliches Format wie das Stör-Byte hatte und so die Störung nicht vom tatsächlichen Signal getrennt werden konnte. Nachdem die Daten der Blendungsversuchsreihe repariert worden waren, konnten die Biosignale aller teilnehmenden Personen verwendet werden.

Zunächst wurden die Biosignale mathematisch ausgewertet, wobei jeweils die auf den Reizeinsatz folgenden 15 Sekunden betrachtet wurden. Durchschnittliche Herzrate (HR), minimale und maximale HR, Skin Conductance Level (SCL) sowie die Anzahl der Ausschläge in der Skin Conductance Response (SCR) wurden untersucht. Dabei wurden diese Werte jeweils auf die Mittelwerte der Baseline-Daten bezogen, sodass sie zwischen den Probanden vergleichbar waren. Die Ergebnisse wurden den verschiedenen Helligkeiten zugeordnet und sind in Abb. 5.23 dargestellt. Die entsprechenden Daten sind im Anhang in den Tabellen A.10 und A.11 zu finden. Die physiologische Reaktion der Probanden zeigt keinen Zusammenhang mit der Veränderung der Leuchtdichte des Blendereizes.

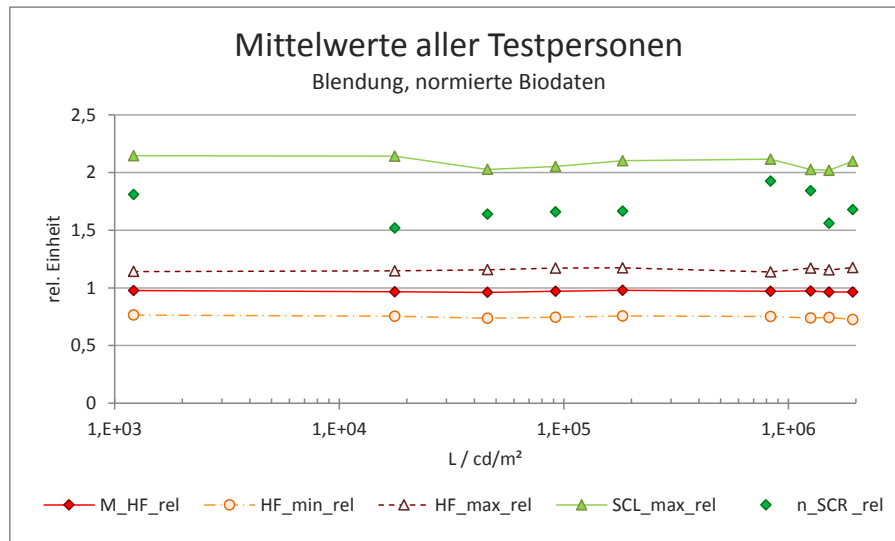


Abbildung 5.23.: Mittelwerte der normierten Biodaten: Die Mittelwerte der normierten Biodaten eines jeden Probanden wurden wiederum gemittelt und in Beziehung zur Leuchtdichte des Blendreizes gesetzt. Zur besseren Übersichtlichkeit ist die Leuchtdichte logarithmisch skaliert und die Standardabweichung ist nicht dargestellt.

SCL und SCR liegen sichtbar höher als die Baseline-Daten, was auf eine gesteigerte Aufmerksamkeit bzw. Anspannung während der Untersuchung hindeutet. Bei der mittleren Herzfrequenz lässt sich keine Veränderung feststellen.

5.3.2 Analyse der Bewertung durch die Probanden

Bei der Auswertung der Bewertungen der Blendreize durch die Probanden auf der inversen deBoer-Skala zeigte sich, dass sich im Laufe des Experiments ein Lerneffekt einstellte: Beim ersten Durchlauf der zehn Blendreize wurden diese so bewertet, wie sie subjektiv empfunden wurden (siehe Abb. 5.24 links). Betrachtet man die Durchläufe #3 bis #5 (Abb. 5.24 rechts), erkennt man, dass die Bewertungen der Größe nach geordnet der Leuchtdichte zugeordnet wurden. Gleichzeitig wurde in diesen Durchläufen auch die Skala (1 bis 9) voll ausgenutzt, was im ersten Durchlauf bei 5 der 16 Probanden nicht der Fall war, im dritten Durchlauf bei 15 von 16 Probanden.

5.3.3 Individuelle Analyse der Biodaten

Da die mathematische Erstellung der Mittelwerte individuelle Reaktionen nicht berücksichtigt, wurden testweise die Daten von zufällig ausgewählten 6 der 17 Probanden genauer untersucht. Die auf den Reiz folgenden Ausschläge der Biodaten wurden relativ zur momentanen Baseline gemessen und anschließend auf die zu Beginn des Experiments aufgenommene Gesamt-Baseline bezogen. Das Signal wurde bis 12 Sekunden nach Reizeinsatz ausgewertet. Einige Probanden zeigten einen Lerneffekt hinsichtlich der Pause zwischen den Blendreizen: Ihre Biosignale zeigten einen Peak 20 Sekunden, nachdem ein Reiz angezeigt wurde. Dies entspricht dem Zeitintervall nach einem weniger hellen Reiz zum nächsten Blendreiz.

Diese Auswertung zeigte große Schwankungen und keine Proportionalität zur Leuchtdichte des Reizes. Eine der Hauptschwierigkeiten war die Tatsache, dass das SCL bei einigen Personen mit der Zeit anstieg und mit ihm auch die Ausschläge des Signals, während das SCL bei anderen

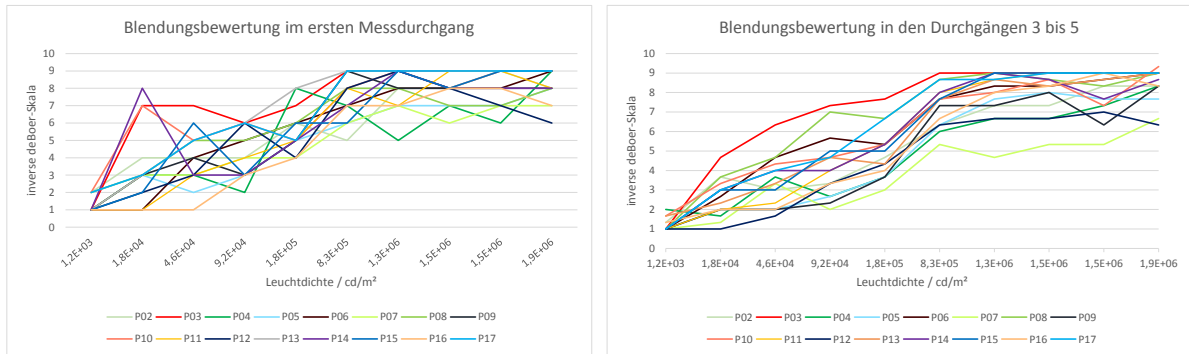


Abbildung 5.24.: Links: Die Bewertungen der Blendung auf der inversen deBoer-Skala für den ersten Durchlauf der 10 Blendreize, geordnet nach der Leuchtdichte. Rechts: Die Bewertungen der Blendung auf der inversen deBoer-Skala für die Durchläufe 3 bis 5.

Probanden mit der Zeit sank. Die relative Höhe der Peaks wird deshalb nicht als Bewertungskriterium herangezogen.

Betrachtet man das SCL in Kombination mit dem Reiz, so zeigt sich in vielen Fällen eine Sekunde nach Reizeinsatz ein Anstieg, der sein Maximum erreicht, solange der Reiz noch besteht (Abb. 5.25). Da dies häufig auftrat, wurde es bei den 6 hier betrachteten Personen ausgewertet.

Die erste Betrachtung zeigt, dass die Ausschläge mit der Zeit – von Durchlauf zu Durchlauf – geringer wurden. Dies deutet darauf hin, dass die Probanden zu Beginn des Experiments einen erhöhten Stress empfanden, der mit der Gewöhnung an die Situation abnahm. Nach den ersten zehn Blendreizen war der Ablauf des Experimentes bekannt.

Die folgende Betrachtung, die die Höhe der Ausschläge (die Amplitude) auswertete, zeigte keinen Zusammenhang zur Leuchtdichte des Blendreizes.

Gruppiert man Reize und Reaktionen in den Bereichen zwischen $1,2 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$ und $1,8 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$ bzw. zwischen $8,3 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$ und $1,9 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$, zeigt sich in der Anzahl der Peaks ein signifikanter Unterschied, wie in Tabelle 5.5 dargestellt ist ($p = 0.0023$).

Tabelle 5.5.: Vergleich der Peaks des SCL-Signals für oberen und mittleren Leuchtdichte-Bereich.

Leuchtdichte-Bereich	Mittlere Anzahl von Peaks	σ
$1,2 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2 \leq L \leq 1,8 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$	2,40	1,083
$8,3 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2 \leq L \leq 1,9 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$	3,37	1,016

5.3.4 Fazit

Die Blendung als einziger Stimulus ruft nur geringe biophysikalische Signalveränderungen bei den Probanden hervor. Eine Aufschlüsselung der Leuchtdichte-Stufen anhand der Biosignale ist nicht möglich. Ein signifikanter Anstieg der Reaktionen konnte aber zwischen Reizen im Bereich mittlerer (ca. 10^4 cd/m^2) und hoher Leuchtdichte (ca. 10^6 cd/m^2) nachgewiesen werden.

Die Bewertung der Blendung durch die Probanden zeigte einen deutlichen Lerneffekt:

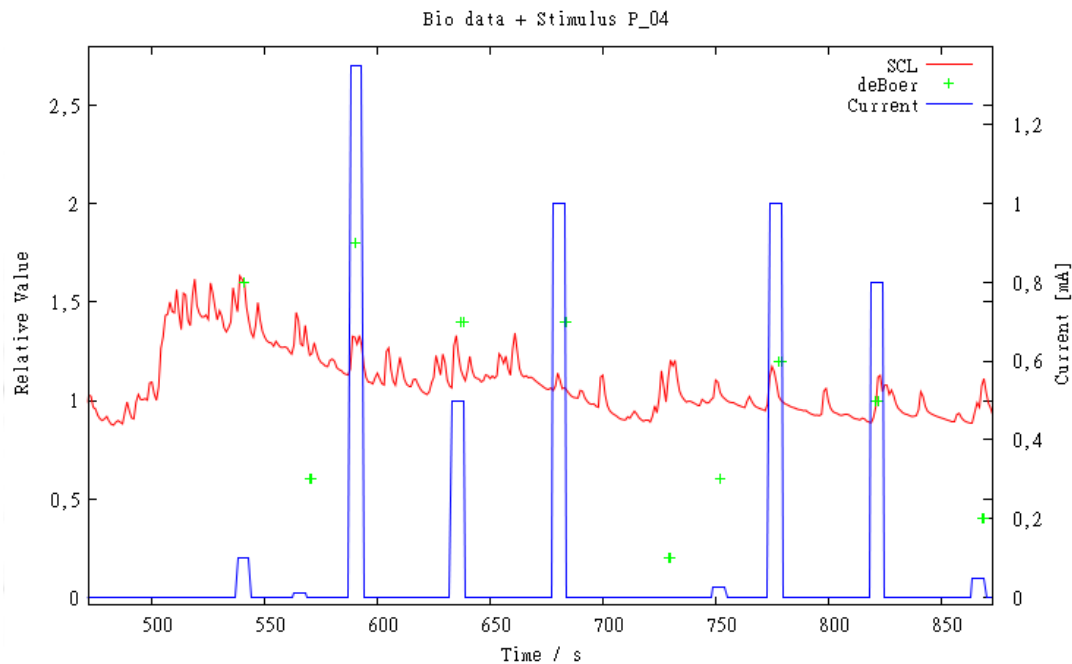


Abbildung 5.25.: Zeitlicher Verlauf des SCL, der Bewertung auf der inversen deBoer-Skala und des Eingangsstroms der Blendquelle. Man erkennt, dass das SCL nach Einsetzen des Blendreizes ansteigt, ein Maximum erreicht und schließlich wieder abfällt.

- Nach einem von fünf Durchläufen zeigte sich eine Reaktion in den Biosignalen nach ungefähr 25 Sekunden. Diese entspricht dem kürzeren der beiden möglichen Intervalle zwischen den Reizdarbietungen. Daraus lässt sich schließen, dass der Proband – möglicherweise unbewusst – nach dieser Zeit einen neuen Reiz erwartete.
- Spätestens beim dritten der fünf Durchläufe wurde bei allen Probanden die Bewertungsskala von 1 bis 9 komplett ausgenutzt und auf die Abstufung der Leuchtdichte angepasst. Die Testpersonen hatten die Spannweite der dargebotenen Leuchtdichte erfasst und ihre Bewertung dementsprechend angepasst.

Die relativen Bewertungen des Blendreizes auf der inversen deBoer-Skala waren sehr akkurat, was für eine Verwendung dieser Skala bei Experimenten spricht, bei denen relative Aussagen nützlich sind. Da die Probanden die Skala im Verlauf des Experiments auf den verwendeten Leuchtdichte-Bereich anpassten, sollte die Skala nicht zum Vergleich von Experimenten mit verschiedenen Leuchtdichte-Bereichen verwendet werden.

Diese Ergebnisse wurden teilweise im Rahmen der Konferenz ISAL 2013 vorgestellt [70].

5.4 Fahrsimulatorstudie zum Stressempfinden

5.4.1 Fehlerbetrachtung der biophysikalischen Messwerte

Die Messung der Biosignale zeigte sich auf zweierlei Arten fehlerbehaftet: Einerseits liegt eine endliche Messgenauigkeit, begrenzt durch Auflösung und Empfindlichkeit des Messgerätes, vor, andererseits bestand ein Fehler im Gerät, durch den die gespeicherten Daten nicht lesbar waren. Beide Fälle werden hier behandelt.

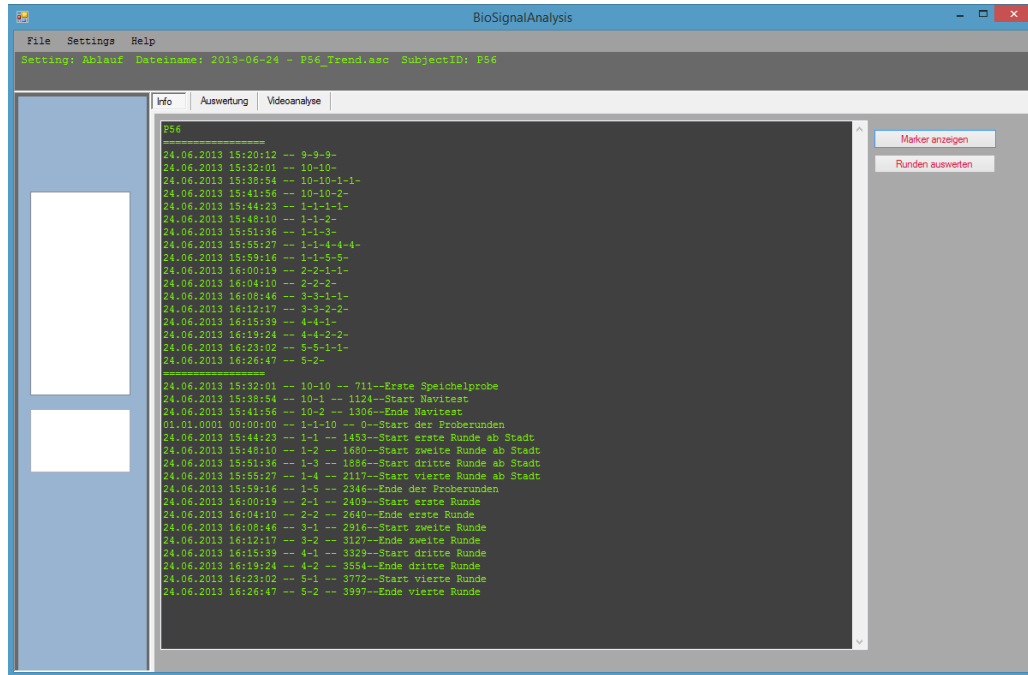


Abbildung 5.26.: Die Analyse-Software für Biodaten dient zum Einlesen der Messwertdateien: Dadurch konnten einerseits bestehende Fehler in den Rundenmarkierungen festgestellt und außerdem die Mittelwerte der Biodaten in den gefahrenen Runden berechnet und als Tabelle abgespeichert werden.

Wie bei den vorhergehenden Versuchsreihen waren auch bei der Fahr Simulatorstudie einige der Biosignal-Dateien beschädigt. Mithilfe des in Abschnitt 5.3 vorgestellten Programms konnten diese jedoch repariert werden, sodass alle Ergebnisse ausgewertet werden konnten.

5.4.2 Entwicklung der Analyse-Software

Wie in Abschnitt 4.5 beschrieben, fuhren die Probanden je vier Runden zur Eingewöhnung und zur Datenerhebung. Bei einer durchschnittlichen Fahrtdauer von etwa 4,3 Minuten pro Runde sind das für 48 vollendete Tests 1651,2 Minuten bzw. 27,52 Stunden reine Fahrtzeit. Fügt man die zehnminütige Baseline-Messung zu Beginn der Durchführung hinzu, sind es 35,52 Stunden an auszuwertenden Biodaten. Da die Auswertung ein Mehrfaches der Messzeit in Anspruch nimmt, wurde eine Software erstellt, die diese Aufgabe in Teilen übernimmt: Sie ermittelt die Start- und Endezeiten der gefahrenen Runden sowie der Baseline-Messung und errechnet aus den entsprechenden Biodaten Durchschnitte, Minima und Maxima der einzelnen Signale. Weiterhin wird die Zeit berechnet, die pro Runde benötigt wurde. Die Daten können als Tabelle direkt in das Programm MS Excel exportiert werden (Abb.5.26).

5.4.3 Rundenbasierte Auswertungen – Vorgehensweise

Bevor die Ergebnisse im Einzelnen diskutiert werden, wird die statistische Methode der Kontrastanalyse kurz vorgestellt (siehe auch [102]).

Um festzustellen, ob sich Mittelwerte einer Verteilung voneinander unterscheiden, wird eine Varianzanalyse durchgeführt (Abschnitt A.1.2). Diese Methode erlaubt jedoch keine weitere Aussage über die Art der Abweichung und die Verteilung der Mittelwerte untereinander. Um die drei Bedingungen, die im Fahr Simulator getestet wurden, untereinander vergleichen zu können, wurde deshalb die Kontrastanalyse gewählt. Bei dieser Sonderform der Varianzanalyse

beschreibt die Alternativhypothese die angenommene relative Verteilung der Mittelwerte. Sie wird in Form der λ -Verteilung aufgestellt, welche der erwarteten Verteilung der Mittelwerte entspricht. Die Kontrastanalyse überprüft, wie weit die einzelnen Mittelwerte von dem jeweiligen Wert für λ differieren. Daraus wird anhand der t-Verteilung errechnet, wie wahrscheinlich eine solche Verteilung ist, wenn die Annahme der Mittelwerte korrekt ist. Errechnet wird folglich die Korrelation zwischen λ -Verteilung und Verteilung der Mittelwerte [102]. Liegt der Wert der t-Verteilung über 0,95, ist die Wahrscheinlichkeit über 95%, dass die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese verworfen werden kann. Die Korrelation zwischen λ -Verteilung und Verteilung der Mittelwerte ist dann signifikant.

Ziel der Untersuchung ist es festzustellen, ob ein Zusammenhang zwischen der Komplexität des Straßenumfeldes und den biophysikalischen Signalen des Probanden besteht. Die Verwendbarkeit der Signale zur Bewertung der Wahrnehmung soll untersucht werden. Weiterhin gilt es, den Einfluss lichttechnischer Eigenschaften des Umfeldes zu überprüfen. Zunächst werden daher die vier innerhalb einer Bedingung gefahrenen Runden miteinander verglichen, z.B. werden innerhalb der Bedingung B - Straßenbeleuchtung diese Unterbedingungen betrachtet:

- A - keine Besonderheiten
- AB - Straßenbeleuchtung vorhanden
- AE - Nebenaufgabe wird durchgeführt
- ABE - Straßenbeleuchtung vorhanden und Nebenaufgabe wird durchgeführt

Gleiches gilt für die Bedingungen C - Innenraumbelichtung und D - Blendung. So kann der Einfluss eines Parameters für sich im Vergleich zu einer Umgebung ohne Lichteinflüsse untersucht werden.

Im nächsten Schritt werden die Lichteinflüsse untereinander verglichen, indem die Werte der Runden mit den Bedingungen AB, AC und AD verglichen werden. Dabei handelt es sich um die Runden, in denen der Lichteinfluss auf den Probanden wirkte, ohne dass die Nebenaufgabe durchgeführt werden musste. Eine zweidimensionale Kontrastanalyse ist hier nicht erlaubt, da die Stichproben innerhalb der Bedingungen abhängig sind (dieselben Personen), zwischen den Bedingungen jedoch unabhängig (verschiedene Personen).

In den Diagrammen der folgenden Abschnitte wird die λ -Verteilung durch eine dunkelblaue Linie dargestellt. Es wird angenommen, dass eine hohe Komplexität der Umgebung Stress auslöst und die Werte der Biosignale dadurch steigen. Ein hoher Wert für λ deutet damit auf eine angenommene hohe Komplexität der vorliegenden Bedingung hin. Eventuell auftretende Regelmechanismen, die die Herzfrequenz bei starkem Stress wieder senken, sollen hier nicht untersucht werden, da einerseits kein extremer Stress hervorgerufen und untersucht werden soll und andererseits die Eignung des Signals zur Stressbewertung in diesem speziellen Fall nicht gegeben ist. Daher wird hier auf Proportionalität des Signalwertes zur Komplexität getestet. Die Messwerte der Biosignale wurden auf die individuellen Baselinewerte normiert, sodass individuelle Unterschiede nicht mehr vorliegen. Die Mittelwerte der jeweiligen Bedingung sind neben λ in den Diagrammen eingezeichnet. Eine durchgezogene Linie weist auf eine signifikante Korrelation hin, eine gestrichelte Linie zeigt, dass keine signifikante Korrelation vorliegt.

Die Ergebnisse der Fragebögen, die nach jeder gefahrenen Runde ausgefüllt wurden, sind ebenfalls per Kontrastanalyse ausgewertet und in Diagrammen dargestellt. Das Kriterium „Komplexität“ (KAB 3) dient dazu, die angenommene mit der wahrgenommenen Komplexität zu vergleichen und die λ -Verteilung zu bestätigen. Bei den Kriterien „Angespannt - Gelassen“ und „Müde“

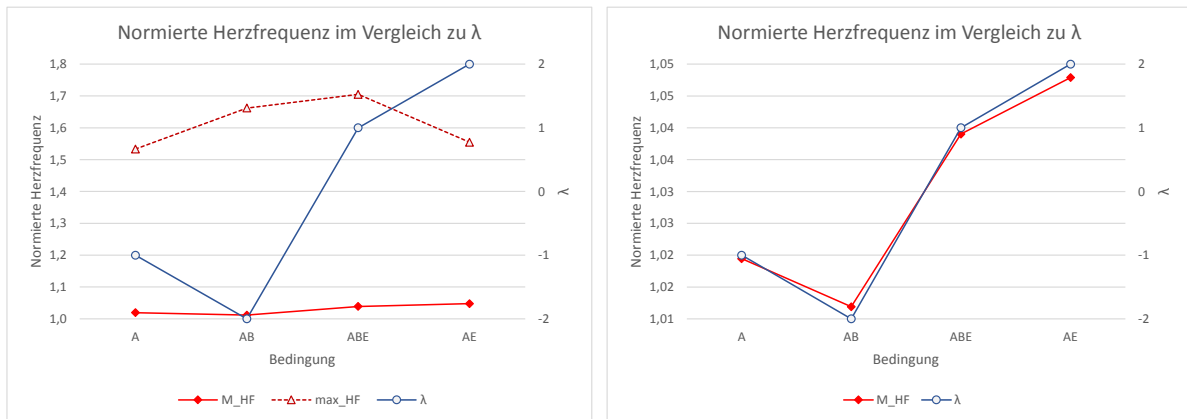


Abbildung 5.27.: Bedingung B – Links: Darstellung der normierten Herzfrequenz (Mittelwert der Mittelwerte mit $p = 0,0005$ sowie Mittelwert der Maxima mit $p = 0,6043$) im Vergleich zur Lambda-Verteilung der Kontrastanalyse. Rechts: Darstellung der Mittelwerte der Herzfrequenz auf einer gestreckten Skala. Die Korrelation zwischen λ und M_HF kann unmittelbar abgelesen werden.

wurde die λ -Verteilung invertiert, da die Bewertungsskala ebenfalls invertiert war. Die Werte der Fragebögen wurden nicht normiert, da hier eine Skala vorgegeben war.

Weiterhin wurden Rundenzeit und Fahrfehler pro Runde erhoben. Die Rundenzeit differierte stark zwischen den Probanden, weshalb die Werte auf die benötigte Zeit für die Runde mit der Bedingung A normiert wurden. Daher wurden hier pro Bedingung nur je drei Werte verglichen. Die Fahrfehler wurden nicht normiert, da sie zum einen für alle Teilnehmer zwischen null und fünf pro Runde lagen und zum anderen der Wert null sehr häufig vorkam, was die Normierung erschwerte.

5.4.4 Rundenbasierte Auswertungen – Bedingung B: Straßenbeleuchtung

Bei der Straßenbeleuchtung wird angenommen, dass sie das Fahren bei Dunkelheit vereinfacht und dadurch die Komplexität des Straßenumfeldes senkt. Die Nebenaufgabe – die Adresseingabe in ein simuliertes Navigationsgerät – übt Stress auf die Testperson aus. Daher wird als Alternativhypothese diese λ -Verteilung formuliert:

- $\lambda = -1$ bei A - keine Besonderheiten
- $\lambda = -2$ bei AB - Straßenbeleuchtung vorhanden
- $\lambda = 1$ bei ABE - Straßenbeleuchtung vorhanden und Nebenaufgabe wird durchgeführt
- $\lambda = 2$ bei AE - Nebenaufgabe wird durchgeführt

Die Mittelwerte der gemessenen Biosignale sind zusammen mit λ in den Abbildungen 5.27 und 5.28 dargestellt. Bei allen Signalen wurden für jeden Probanden die Mittelwerte der Messwerte über jede Runde gebildet. Bedingung B wurde von 16 Probanden durchfahren. Zusätzlich wurden die Maxima jedes Signales ermittelt und für das Skin Conductance Level noch die relative Amplitude (Höhe des Ausschlags ausgehend vom momentanen SCL). Diese Werte wurden auf die Baselinewerte der Probanden normiert, sodass individuelle Unterschiede in den Signalen eliminiert werden. Auf den so errechneten Werten wurde die Kontrastanalyse durchgeführt, die die Mittelwerte der Bedingungen mit der λ -Verteilung vergleicht.

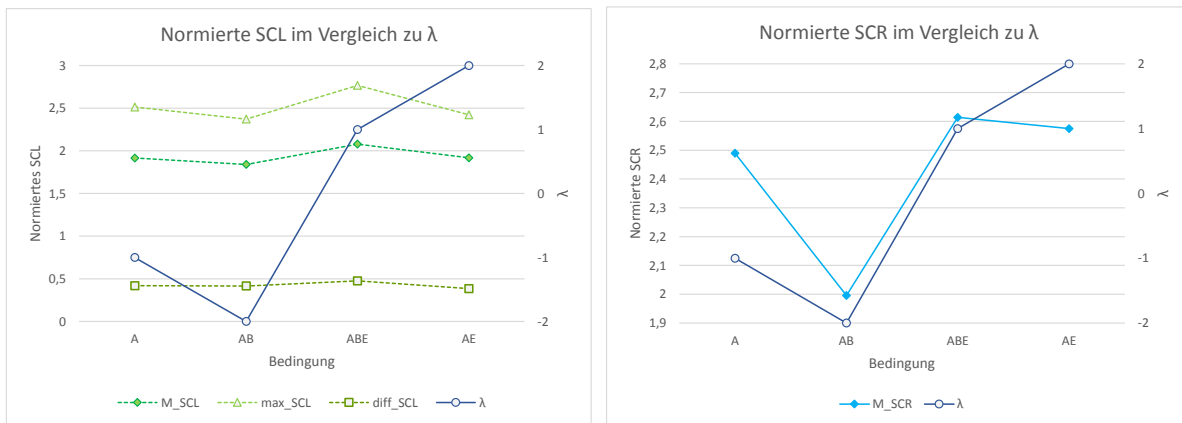


Abbildung 5.28.: Darstellung der normierten Werte des Skin Conductance Level im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse mit $p = 0,111$ für M_SCL, $p = 0,165$ für max_SCL, $p = 0,521$ für diff_SCL und $p = 0,02$ für M_SCR.

Abb. 5.27 (links) zeigt die Mittelwerte der Herzfrequenz sowie die Maxima der Herzfrequenz für die Testläufe der Bedingung B – Straßenbeleuchtung. Die Mittelwerte M_{HF} zeigen einen signifikanten Zusammenhang zu den Werten von λ ($p = 0,0005$). Bei den Maxima der Herzfrequenz liegt keine nachweisbare Korrelation vor.

Durch die Kontrastanalyse wird die relative Verteilung der Mittelwerte überprüft. Streckt man in Abb. 5.27 (links) die Skala für die Darstellung der Mittelwerte M_{HF} , so kann die Korrelation unmittelbar erkannt werden. Dies wird in Abb. 5.27 (rechts) dargestellt.

Abb. 5.28 zeigt die Mittelwerte der beiden Hautleitwerte. Im linken Diagramm sind Mittelwert M_{SCL} , Maxima max_{SCL} und relative Amplitude $diff_{SCL}$ des normierten und gemittelten Skin Conductance Levels dargestellt. Dieser Wert zeigt die mittelfristige Veränderung auf der sympathischen Nebennierenmark-Stressachse. Ein signifikanter Zusammenhang zu den λ -Werten kann bei keinem der drei Werte gezeigt werden. Das rechte Diagramm zeigt die Mittelwerte der normierten und gemittelten Skin Conductance Response M_{SCR} , die auf akuten Stress hinweisen soll. Diese stimmen signifikant mit der λ -Verteilung überein ($p = 0,02$).

Auch die Ergebnisse der Fragebögen, die von den Probanden nach den vier Versuchsrunden ausgefüllt wurden, wurden einer Kontrastanalyse unterzogen. Abbildung 5.29 zeigt die Mittelwerte der Ergebnisse für die Bedingung B – Straßenbeleuchtung. Das linke Diagramm zeigt die Bewertung der Bedingungen nach dem Kriterium „einfach – komplex“ bzw. die Beurteilung des eigenen Zustandes durch die Probanden als „entspannt – unruhig“, wobei Bewertungen auf einer Skala von 1 bis 6 möglich waren. Die Zahl 1 stand hier für „entspannt“ bzw. „einfach“, die Zahl 6 bedeutete „unruhig“ bzw. „komplex“. Auf der rechten Seite sind die Ergebnisse der Bewertung des eigenen Zustandes auf einer umgekehrten Skala nach dem Gesichtspunkt „angespannt – gelassen“ zu sehen. Zudem bewerteten die Probanden ihre Müdigkeit nach Durchfahren der Bedingungen. Hier stand die Bewertung 1 für „angespannt“ bzw. „nicht müde“, die Bewertung 6 für „gelassen“ bzw. „müde“. Die λ -Verteilung wurde für diese beiden Bewertungen umgekehrt, da für das Kriterium „angespannt – gelassen“ die Skala als Kontrolle invertiert wurde und angenommen wird, dass eine erhöhte Komplexität Stress auslöst und damit die Müdigkeit eher abnimmt.

Die Bewertungen der Komplexität stimmen sehr gut mit der angenommenen Verteilung überein ($p = 4,4 \cdot 10^{-7}$). Dies zeigt, dass die gewählte λ -Verteilung für die Bedingung B – Straßenbeleuch-

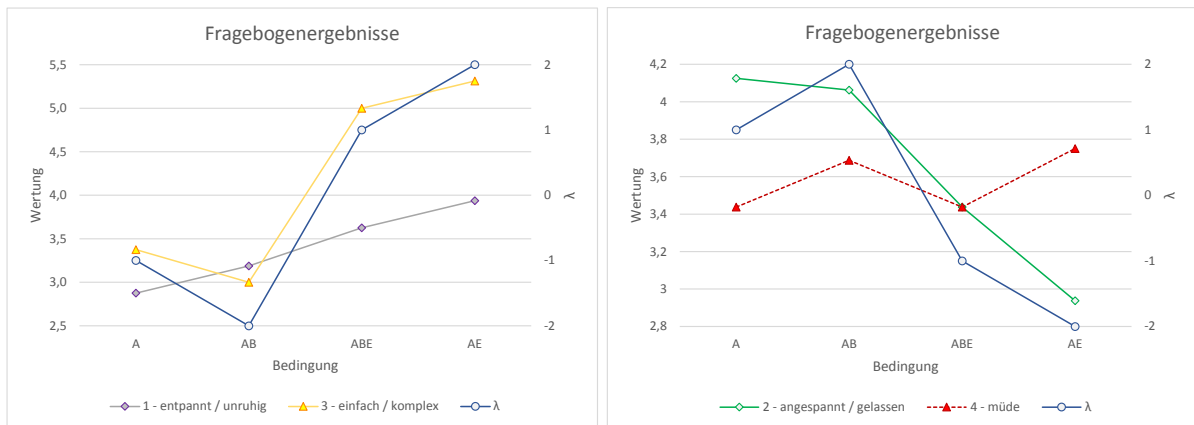


Abbildung 5.29.: Darstellung der Fragebogenergebnisse im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse (Mittelwerte über die 16 Probanden). Links: für die Kriterien entspannt-unruhig ($p = 0,029$) und einfach-komplex ($p = 4,4 \cdot 10^{-7}$). Rechts: für die Kriterien angespannt-gelassen ($p = 0,0075$) und müde ($p = 0,53$).

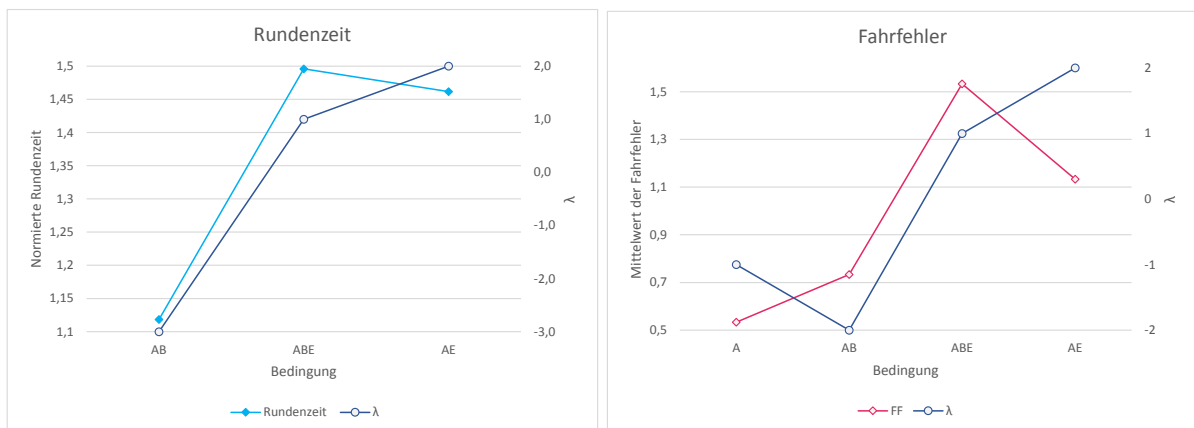


Abbildung 5.30.: Darstellung der Rundenzeiten ($p = 6,15 \cdot 10^{-7}$) und Fahrfehler ($p = 0,0099$), berechnet als Mittelwert über die 16 Probanden, im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse.

tung zur Prüfung der weiteren Messwerte geeignet ist. Die Werte für das Kriterium „entspannt – unruhig“ zeigen ebenfalls eine signifikante Übereinstimmung mit den λ -Werten ($p = 0,029$). Für das Kriterium „angespannt – gelassen“ stimmen die Beurteilungen der Probanden signifikant mit den λ -Werten überein ($p = 0,0075$), im Gegensatz zur Beurteilung ihrer Müdigkeit ($p = 0,53$).

Weiterhin wurde die Zeit betrachtet, die zum Durchfahren einer Runde benötigt wurde, ebenso wie die Fahrfehler pro Runde. Als Fahrfehler wurde das Verlassen der Fahrbahn mit Aufprall auf eine Begrenzung angesehen. Diese beiden Werte wurden auf die Werte der Runde mit der Bedingung A, der neutralen Runde, normiert, da hierfür keine Baseline vorlag und jeder Proband eine Runde mit der Bedingung A durchfuhr. Die Ergebnisse sind in Abb. 5.30 dargestellt. Sowohl Rundenzeit (links, $p = 6,15 \cdot 10^{-7}$) als auch Fahrfehler (rechts, $p = 0,0099$) zeigen eine signifikante Übereinstimmung mit der λ -Verteilung. Aus der Verteilung wurde der Wert für die Bedingung A entfernt. Die restlichen Werte sind im Verhältnis zueinander gleich geblieben.

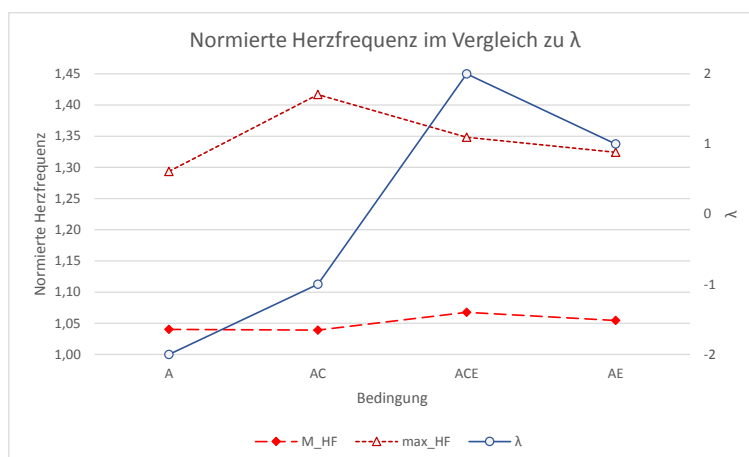


Abbildung 5.31.: Darstellung der normierten Herzfrequenz (Mittelwert der Mittelwerte mit $p = 0,054$ sowie Mittelwert der Maxima mit $p = 0,463$) im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse: Die Werte geben die geschätzte Verteilung der Komplexitätsbewertung wieder, die durch die Kontrastanalyse in Bezug zu den Messwerten gesetzt wird.

5.4.5 Rundenbasierte Auswertungen – Bedingung C: Innenraumbeleuchtung

Bei hellerer Beleuchtung des Innenraums (Bedingung C) ist die Leuchtdichte im Innenraum ($\bar{L} = 9,56 \text{ cd/m}^2$, $L_{\max} = 207,1 \text{ cd/m}^2$) im Vergleich zum simulierten Straßenumfeld ($\bar{L} = 0,71 \text{ cd/m}^2$) und zu der Leuchtdichte des Innenraums im Grundzustand ($\bar{L} = 1,49 \text{ cd/m}^2$, $L_{\max} = 33,6 \text{ cd/m}^2$) deutlich höher. Es wird angenommen, dass die Innenraumbeleuchtung die Wahrnehmung des Straßenumfeldes erschwert und damit die Komplexität der Fahraufgabe steigert. Daraus folgt diese angenommene Verteilung der λ -Werte:

- $\lambda = -2$ bei A - keine Besonderheiten
- $\lambda = -1$ bei AC - Fahrzeuginnenraum beleuchtet
- $\lambda = 2$ bei ACE - Fahrzeuginnenraum beleuchtet und Nebenaufgabe wird durchgeführt
- $\lambda = 1$ bei AE - Nebenaufgabe wird durchgeführt

Bedingung C wurde von 13 Probanden durchfahren. Abb. 5.31 zeigt die Mittelwerte der normierten und gemittelten Herzfrequenz, ebenso die Maxima. Die Maxima zeigen keine signifikante Übereinstimmung mit den λ -Werten ($p = 0,463$). Bei den Mittelwerten liegt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Übereinstimmung eintritt, bei 94,56% ($p = 0,054$). Da von einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ ausgegangen wird, liegt hier ebenfalls keine Signifikanz vor.

Auch die Hautleitwerte (Abb. 5.32) zeigen keinen signifikanten Zusammenhang zur λ -Verteilung. Bei den Mittelwerten des Skin Conductance Levels liegt p bei 0,099. Die Wahrscheinlichkeit für eine Übereinstimmung liegt damit bei 90,07%. Bei den Maxima des SCL beträgt p 0,121, bei der relativen Amplitude ist $p = 0,746$. Die Mittelwerte der Skin Conductance Response zeigen eine Übereinstimmungswahrscheinlichkeit von 94,6%, was mit $p = 0,054$ ebenfalls nicht signifikant ist.

Die Bewertung der Bedingungen hinsichtlich der Eigenschaften „einfach – komplex“ zeigt eine signifikante Übereinstimmung mit der λ -Verteilung ($p = 5,36 \cdot 10^{-4}$). Die Bewertung des Zustandes der Probanden zwischen „entspannt“ und „unruhig“ hingegen zeigt keine signifikante

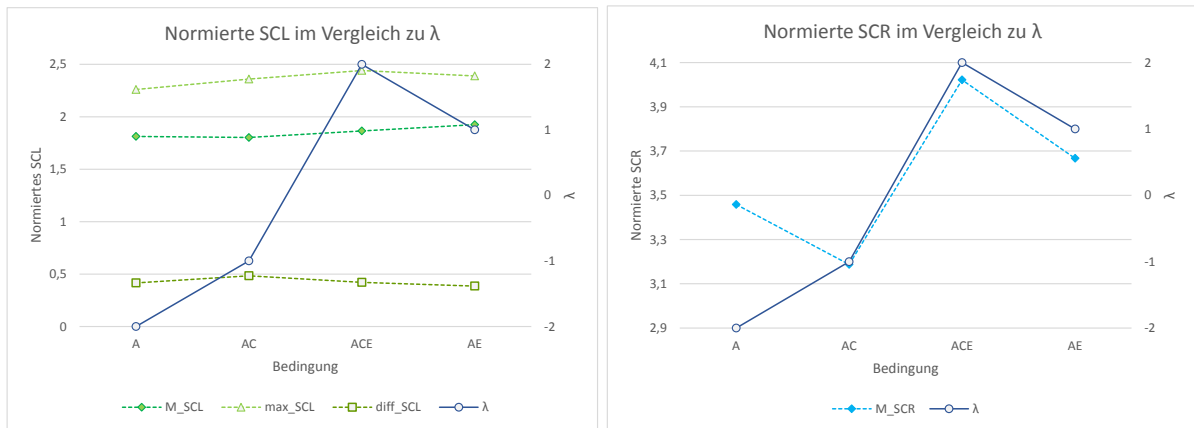


Abbildung 5.32.: Darstellung der Hautleitwerte im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse mit $p = 0,099$ für M_SCL, $p = 0,121$ für max_SCL, $p = 0,746$ für diff_SCL und $p = 0,054$ für M_SCR.

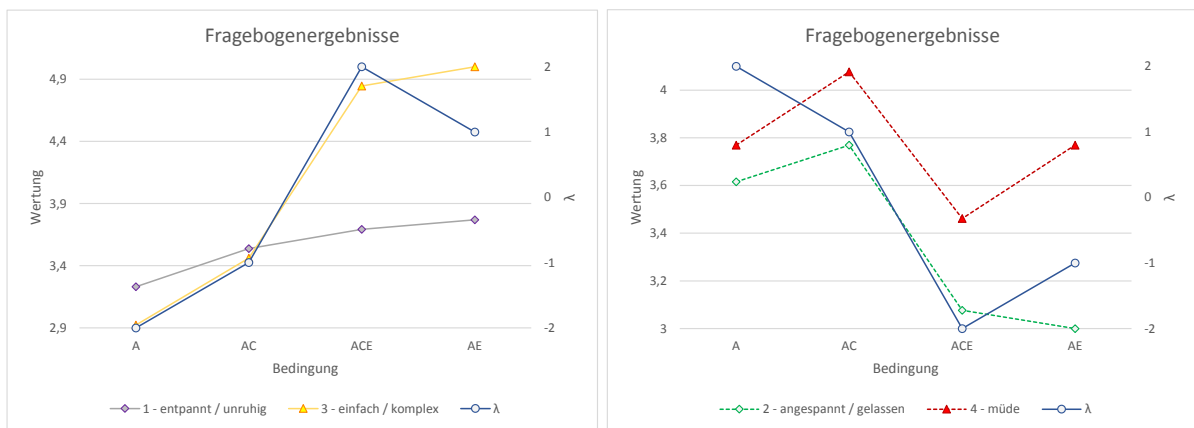


Abbildung 5.33.: Darstellung der Fragebogenergebnisse im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse (Mittelwerte über die 13 Probanden). Links: für die Kriterien entspannt–unruhig ($p = 0,149$) und einfach–komplex ($p = 5,36 \cdot 10^{-4}$). Rechts: für die Kriterien angespannt–gelassen ($p = 0,08$) und müde ($p = 0,339$).

Korrelation ($p = 0,149$). Beide Verteilungen sind in Abb. 5.33 auf der linken Seite dargestellt. In Bezug auf die Kriterien „angespannt – gelassen“ bewerteten die Probanden ihren eigenen Zustand zwar ähnlich der λ -Werte, allerdings nicht in signifikanter Übereinstimmung ($p = 0,08$). Der Bewertung der Müdigkeit nach Durchfahren der vier Bedingungen zeigt ebenfalls keine Signifikanz ($p = 0,339$), wie in Abb. 5.33 auf der rechten Seite zu sehen ist.

Rundenzeit ($p = 4,51 \cdot 10^{-4}$) und Fahrfehler ($p = 0,0021$) zeigen jedoch eine sehr gute Übereinstimmung mit der λ -Verteilung, wie in Abb. 5.34 dargestellt.

5.4.6 Rundenbasierte Auswertungen – Bedingung D: Blendquelle

Bei Blendung der Probanden durch eine LED, die in Position und Leuchtdichte einem entgegenkommenden PKW entspricht, wird angenommen, dass verstärkt Stress verursacht wird. Daher wird hier die folgende λ -Verteilung angenommen:

- $\lambda = -3$ bei A - keine Besonderheiten
- $\lambda = -1$ bei AD - Blendung durch Gegenverkehr

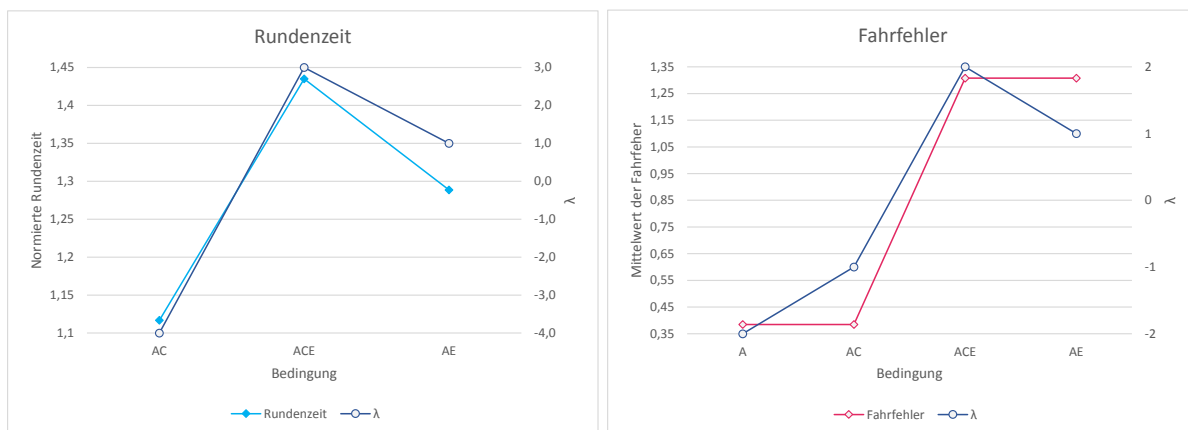


Abbildung 5.34.: Darstellung der Rundenzeiten ($p = 4,51 \cdot 10^{-4}$) und Fahrfehler ($p = 0,0021$) im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse.

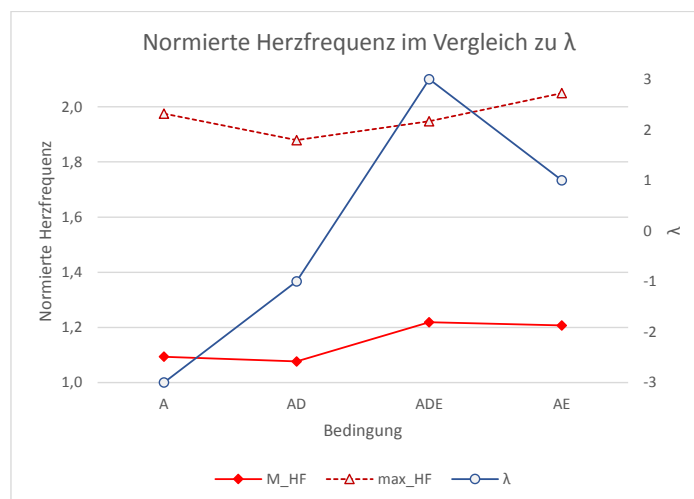


Abbildung 5.35.: Darstellung der normierten Herzfrequenz (Mittelwert der Mittelwerte mit $p = 0,0226$ sowie Mittelwert der Maxima mit $p = 0,356$) im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse: Die Werte geben die geschätzte Verteilung der Komplexitätsbewertung wieder, die durch die Kontrastanalyse in Bezug zu den Messwerten gesetzt wird.

- $\lambda = 3$ bei ADE - Blendung durch Gegenverkehr und Nebenaufgabe wird durchgeführt
- $\lambda = 1$ bei AE - Nebenaufgabe wird durchgeführt

19 Probanden durchfuhren diese Bedingung. Abb. 5.35 zeigt die Mittelwerte und Maxima der gemessenen Herzfrequenz. Bei den Mittelwerten liegt eine signifikante Übereinstimmung zur λ -Verteilung vor ($p = 0,0226$), während bei den Maxima keine Übereinstimmung festgestellt werden kann ($p = 0,356$). Von den Hautleitwerten (Abb. 5.36) zeigen sowohl die Maxima als auch die relative Amplitude des SCL eine signifikante Übereinstimmung zu den λ -Werten ($p = 0,0441$ bzw. $p = 0,0275$). Dies ist bei den Mittelwerten des SCL nicht der Fall ($p = 0,1644$). Die Mittelwerte der SCR wiederum stimmen gut mit der λ -Verteilung überein ($p = 0,042$).

Die Auswertung der Fragebögen in Abb. 5.37 zeigt signifikante Zusammenhänge bei der Kriterien „entspannt – unruhig“ ($p = 0,065$), „einfach – komplex“ ($p = 1,47 \cdot 10^{-4}$) sowie „angespannt – gelassen“ ($p = 7,6 \cdot 10^{-4}$). Die Bewertung der Müdigkeit zeigt keinen Zusammenhang ($p = 0,12$). In Abb. 5.38 sind die Mittelwerte Fahrfehler und Rundenzeiten darge-

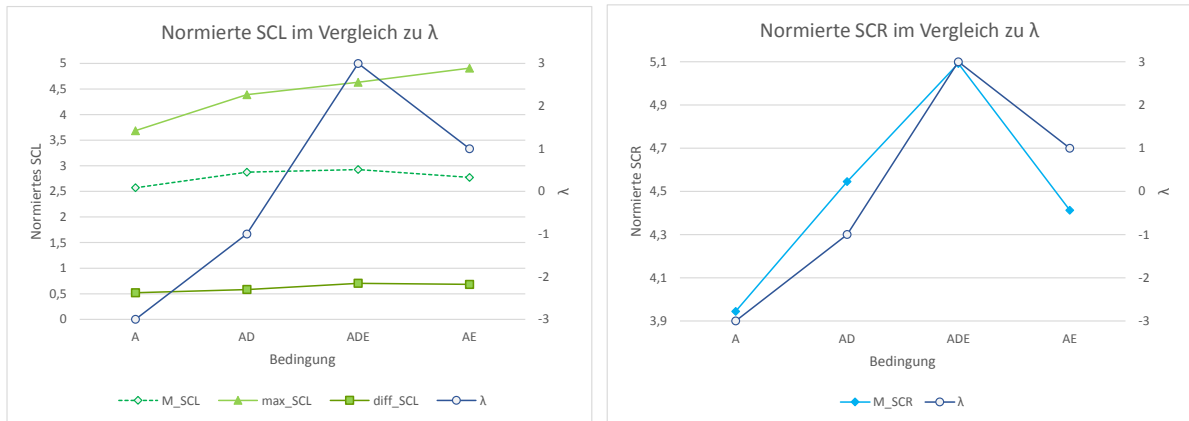


Abbildung 5.36.: Darstellung der Hautleitwerte (Mittelwert der Mittelwerte sowie Mittelwert der Maxima) im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse mit $p = 0,1644$ für M_SCL, $p = 0,0441$ für max_SCL, $p = 0,0275$ für diff_SCL und $p = 0,042$ für M_SCR.

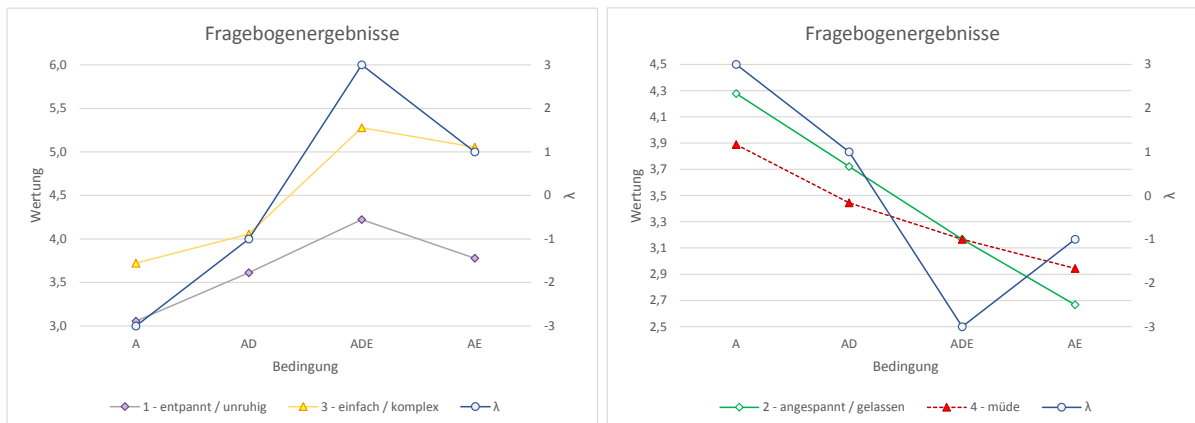


Abbildung 5.37.: Darstellung der Fragebogenergebnisse im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse (Mittelwerte über die 19 Probanden). Links: für die Kriterien entspannt-unruhig ($p = 0,065$) und einfach-komplex ($p = 1,47 \cdot 10^{-4}$). Rechts: für die Kriterien angespannt-gelassen ($p = 7,6 \cdot 10^{-4}$) und müde ($p = 0,12$).

stellt. Beide Verteilungen stimmen signifikant mit der λ -Verteilung überein ($p = 2,79 \cdot 10^{-5}$ bzw. $p = 0,004$).

5.4.7 Rundenbasierte Auswertungen – Vergleich der Bedingungen

Um zu untersuchen, wie sich der durch die verschiedenen Bedingungen hervorgerufene Stress unterscheidet, werden die gemessenen und abgefragten Werte der Runden verglichen, in denen nur die Bedingung ohne Nebenaufgabe erfüllt war. Es wird angenommen, dass Straßenbeleuchtung in der Dunkelheit hilfreich ist, eine hellere Innenraumbeleuchtung nur geringe Auswirkungen hat, aber die Blendung durch Gegenverkehr erhöhten Stress auslöst. Daher wird folgende Verteilung für λ angenommen:

- $\lambda = -2$ bei AB - Straßenbeleuchtung vorhanden
- $\lambda = -1$ bei AC - Fahrzeuginnenraum beleuchtet
- $\lambda = 3$ bei AD - Blendung durch Gegenverkehr

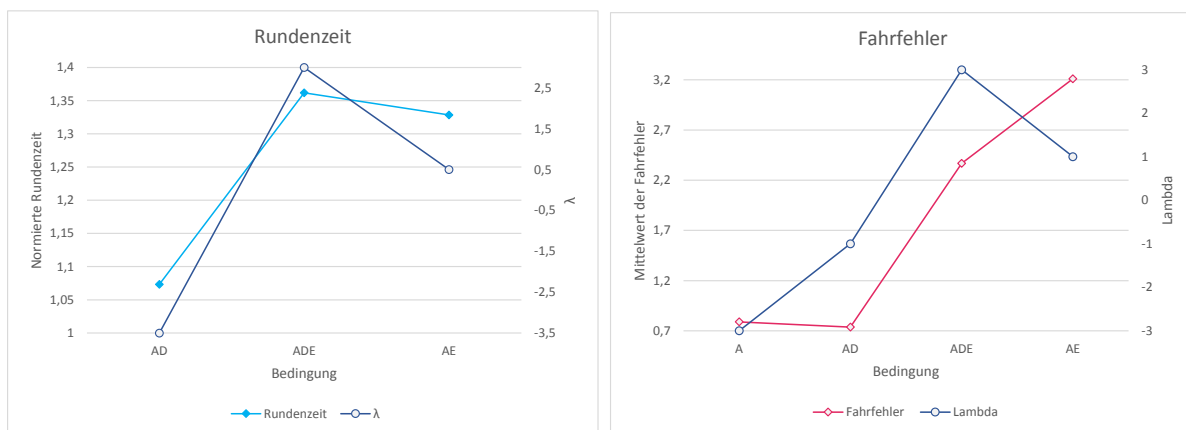


Abbildung 5.38.: Darstellung der Rundenzeiten mit $p = 2,79 \cdot 10^{-5}$ und Fahrfehler mit $p = 0,004$ (Mittelwert über die 19 Probanden) im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse.

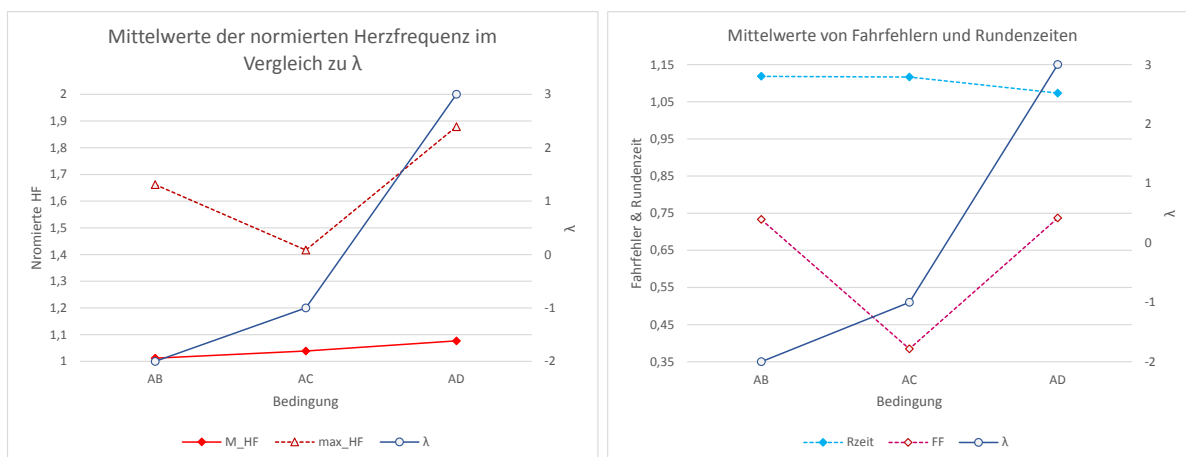


Abbildung 5.39.: Links: Darstellung der normierten Herzfrequenz (Mittelwert der Mittelwerte mit $p = 0,0264$ sowie Mittelwert der Maxima mit $p = 0,0717$) im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse: Die Werte geben die geschätzte Verteilung der Komplexitätsbewertung wieder, die durch die Kontrastanalyse in Bezug zu den Messwerten gesetzt wird. Rechts: Vergleich von Rundenzeiten ($p = 0,257$) und Fahrfehlern ($p = 0,355$) zwischen den Bedingungen.

Auch hier wurde eine Kontrastanalyse durchgeführt, jedoch sind die Ergebnisse als explorativ zu betrachten, da die Datengrundlage bereits für die Auswertung innerhalb der Bedingungen verwendet wurde. Die Mittelwerte und Maxima der Herzfrequenz sind in Abb. 5.39 links zu sehen. Mit $p = 0,0264$ zeigen die Mittelwerte eine signifikante Übereinstimmung zu den λ -Werten, die Maxima hingegen passen nicht zur λ -Verteilung ($p = 0,0717$). Die Auswertung der Hautleitwerte zeigt Bild 5.40. Hier zeigen Mittelwerte ($p = 0,0249$) und Maxima ($p = 0,0171$) des Skin Conductance Levels einen signifikanten Bezug zur λ -Verteilung, während die relative Amplitude keinen starken Zusammenhang zeigt ($p = 0,068$), ebenso wie die Mittelwerte der Skin Conductance Response ($p = 0,0574$).

Die Auswertung der Fragebögen (Abb. 5.41) zeigt – abgesehen vom Kriterium „einfach – komplex“ mit $p = 0,0201$ – ebenfalls keine Zusammenhänge zwischen den Bewertungen und der λ -Verteilung (alle $p > 0,24$). Auch Rundenzeiten und Fahrfehler (Abb. 5.39 rechts) lassen keine Korrelation erkennen ($p = 0,257$ bzw. $p = 0,355$).

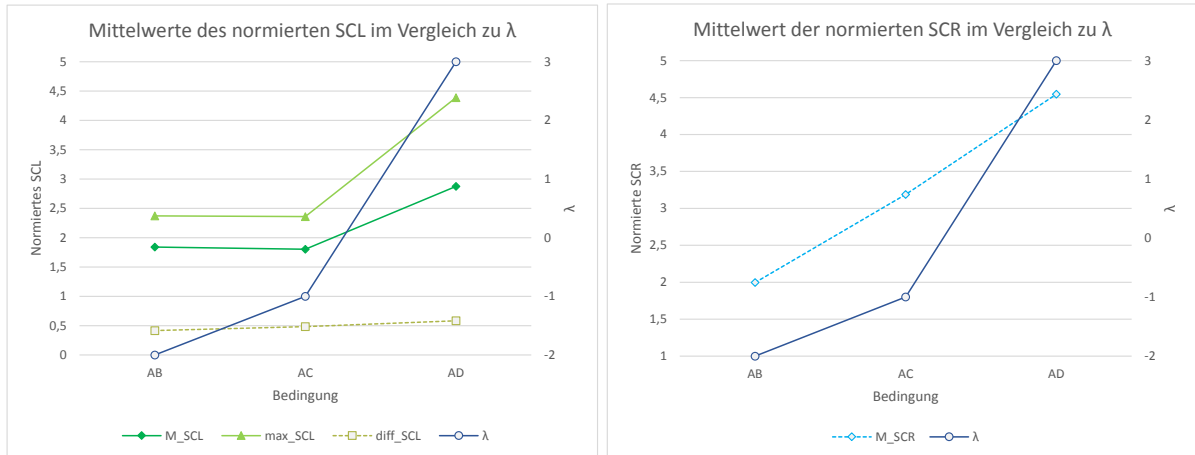


Abbildung 5.40.: Darstellung der Hautleitwerte (Mittelwert der Mittelwerte sowie Mittelwert der Maxima) im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse mit $p = 0,0249$ für M_SCL, $p = 0,0171$ für max_SCL, ($p = 0,068$) für diff_SCL und $p = 0,0574$ für M_SCR.

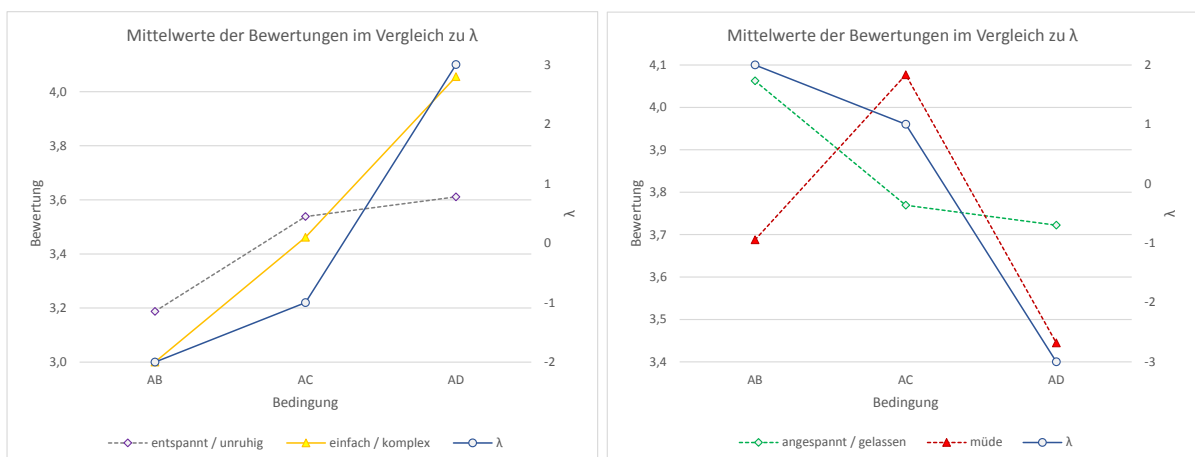


Abbildung 5.41.: Darstellung der Fragebogenergebnisse im Vergleich zur λ -Verteilung der Kontrastanalyse. Links: für die Kriterien entspannt–unruhig ($p = 0,2406$) und einfach–komplex ($p = 0,0201$). Rechts: für die Kriterien angespannt–gelassen ($p = 0,2625$) und müde ($p = 0,2623$).

5.4.8 Fazit

Der Wert der t-Verteilung gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Korrelation zwischen der angenommenen λ -Verteilung und den in der Untersuchung ermittelten Werten vorliegt. Bei einem Wert der t-Verteilung von über 0.95 liegt eine signifikante Übereinstimmung vor.

Die Tabellen 5.6 und 5.7 zeigen die Werte der t-Verteilung für die biophysikalischen Signale, die Ergebnisse der Fragebögen, Fahrfehler sowie Fahrzeit pro Runde. Dunkelgrün sind die Werte, bei denen ein signifikantes Ergebnis vorliegt, hellgrün, wenn die Wahrscheinlichkeit einer Korrelation bei über 85% liegt, und orange, wenn die Wahrscheinlichkeit niedriger liegt.

Um zunächst festzustellen, wie die Komplexität der Bedingungen und Unterbedingungen durch die Probanden bewertet wurde, wird das Ergebnis der entsprechenden Frage ausgewertet (Spalte KAB 3). Die Bewertungen der Komplexität stimmen für alle Bedingungen (Tabelle 5.6) und auch für den Vergleich der Bedingungen (Tabelle 5.7) sehr gut mit der λ -Verteilung überein. Unter der Annahme, dass die Komplexität bei den Probanden Stress auslöst, welcher wiederum einen Anstieg von Herzfrequenz und Hautleitwerten hervorruft, kann die λ -Verteilung als Abschätzung für den Verlauf der Verteilung für die Biosignale verwendet werden.

Im Folgenden werden die Messwerte einzeln hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit in Experimenten zur Komplexitätswahrnehmung betrachtet. Tabelle 5.6 zeigt die Ergebnisse für den Vergleich der Messwerte innerhalb der Testbedingungen. Bei den hier vorliegenden Daten handelt es sich um abhängige Stichproben, da die vier Bedingungen nacheinander von einer Person durchfahren wurden.

Tabelle 5.6.: Ergebnisse der Kontrastanalyse innerhalb der Bedingungen: Werte der t-Verteilung.

Bedingung	M_HF	max_HF	M_SCL	max_SCL	diff_SCL	M_SCR	n
Straßenbeleuchtung	0,9995	0,3957	0,8888	0,8346	0,4789	0,9797	16
Innenraumbeleuchtung	0,9456	0,5373	0,9007	0,8793	0,2539	0,9460	13
Blendung	0,9774	0,6438	0,8356	0,9559	0,9725	0,9580	19
Mittelwert	0,9742	0,5256	0,8750	0,8900	0,5684	0,9612	16

Bedingung	KAB 1	KAB 2	KAB 3	KAB 4	Zeit	Fehler	n
Straßenbeleuchtung	0,9709	0,9925	1,0000	0,4701	1,0000	0,9901	16
Innenraumbeleuchtung	0,8509	0,9197	0,9995	0,6613	0,9995	0,9979	13
Blendung	0,9936	0,9992	0,9999	0,8798	1,0000	0,9960	18
Mittelwert	0,9384	0,9705	0,9998	0,6704	0,9998	0,9947	15,7

Tabelle 5.7.: Ergebnisse der Kontrastanalyse der Bedingungen untereinander: Werte der t-Verteilung. Verglichen wurden die Werte der Bedingungen AB, AC und AD.

Bedingung	M_HF	max_HF	M_SCL	max_SCL	diff_SCL	M_SCR	n
Werte	0,9736	0,9283	0,9751	0,9829	0,9320	0,9426	48

Bedingung	KAB 1	KAB 2	KAB 3	KAB 4	Zeit	Fehler	n
Werte	0,7594	0,7375	0,9799	0,7377	0,7433	0,6448	47

Der Mittelwert der Herzfrequenz (Spalte M_{HF}) zeigt in zwei von drei Bedingungen eine signifikante Übereinstimmung zu λ . Bei Bedingung C – Innenraumbeleuchtung beträgt die Wahr-

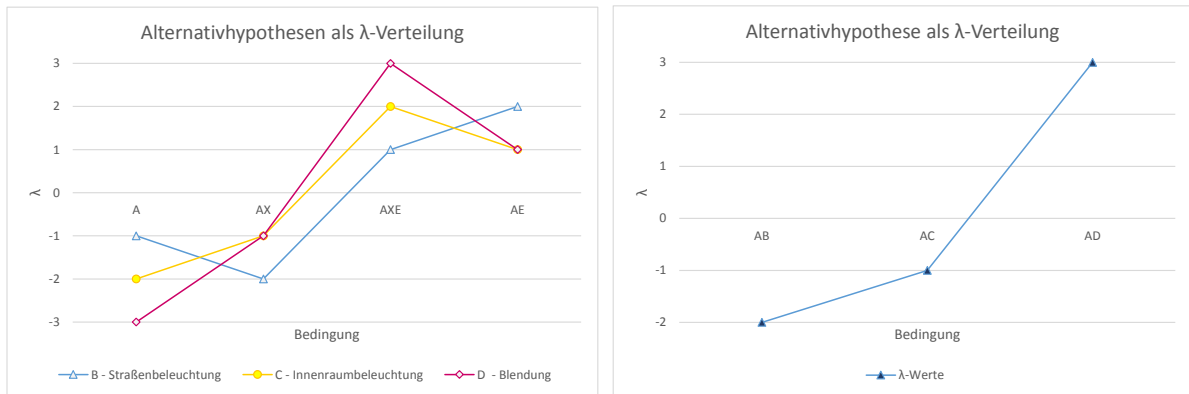


Abbildung 5.42.: Alternativhypothesen für die Verteilungen der Mittelwerte innerhalb der Bedingungen und zwischen den Bedingungen in Form der λ -Verteilung.

scheinlichkeit 94,56%, und zeigt somit einen schwachen Zusammenhang an. Diese gute Übereinstimmung bei geringen Probandenzahlen (zwischen 13 und 19) zeigt, dass der Mittelwert der Herzfrequenz geeignet ist, Stress, hervorgerufen durch eine erhöhte Komplexität, aufzuzeigen. Die Maxima der Herzfrequenz (Spalte *max_HF*) zeigen keine ausreichende Korrelation zur Verteilung der λ -Werte. Dies kann unter anderem durch die natürliche Herzratenvariabilität verursacht werden und sollte in einer zukünftigen Studie näher untersucht werden.

Die Mittelwerte und Maxima des Skin Conductance Levels (Spalten *M_SCL*, *max_SCL* und *diff_SCL*) zeigen durchgehend schwache Zusammenhänge zur λ -Verteilung. Nur bei der Blendung zeigen die Maxima einen signifikanten Zusammenhang. Dies deutet darauf hin, dass die Auswirkungen stärkerer Belastungen im SCL sichtbar werden, nicht aber die schwächeren Belastungen. Hier könnte eine zukünftige Studie mit einer höheren Teilnehmerzahl eine Schwellenbelastung ermitteln. Die Skin Conductance Response (Spalte *M_SCR*), die auf spontane Erregungszustände hindeutet, zeigt hingegen einen guten Zusammenhang zur λ -Verteilung. Rundenzeit und Fahrfehler sind nach der durchgeführten Studie ebenfalls ein sicherer Indikator für die Stärke der Beanspruchung.

Die Alternativhypothesen, die in Form von λ -Verteilungen formuliert wurden (Abb. 5.42 links), wurden durch die Komplexitätsbewertungen in *KAB 3 – einfach/komplex* bestätigt, was durch die Messwerte von *M_HF*, *M_SCR*, Rundenzeit und Fahrfehler unterstützt wird. Demnach verringert Straßenbeleuchtung die Belastung beim Fahren, während eine hellere Innenraumbeleuchtung sie steigert. Eine noch größere Steigerung der Belastung verursacht die Blendung durch (simulierten) Gegenverkehr. Die Bearbeitung einer visuell-motorischen Nebenaufgabe erhöht die Belastung in allen drei Fällen. Die drei Bedingungen Straßenbeleuchtung (B), Innenraumbeleuchtung (C) und Blendung (D) wurden explorativ direkt miteinander verglichen (Abb. 5.42 rechts), was die oben festgestellte Rangfolge der Belastungswirkung stützt.

5.5 Fragebogen zum Stressempfinden bei Nachtfahrten

Die Fragen des Online-Fragebogens (vollständige Darstellung im Anhang unter A.5.2) wurden thematisch in mehrere Abschnitte unterteilt: Nach den eingangs ermittelten persönlichen Eigenschaften der Teilnehmer, welche in Abschnitt 4.6 ausgewertet wurden, wurden Daten zur Fahrerfahrung erhoben. Anschließend folgten Fragen zum Fahren bei Dunkelheit, zu Beleuchtung und zu Lichtquellen in der Verkehrsumgebung sowie zu Ablenkung von der Fahraufgabe durch äußere Einflüsse. Im Weiteren wurden die Teilnehmer nach verschiedenen Störeinflüssen wie beispielsweise der Innenraumbeleuchtung im Fahrzeug oder dem Verkehrsaufkommen befragt. Abschließend konnten in einer offenen Texteingabe weitere Einflüsse genannt werden, die Ablenkung oder Stress beim nächtlichen Autofahren verursachen. Auch wurden die Teilnehmer danach gefragt, ob sie selbst einen Unfall bei Dunkelheit hatten und aus welchem Grund.

In den folgenden Abschnitten werden die Antworten der insgesamt 268 Teilnehmer vorgestellt, die den Fragebogen vollständig bearbeitet haben. Die vollständigen Daten und Auswertungen sind in Abschnitt A.5.2 angehängt.

5.5.1 Kategorie Fahrleistung

Nach der Feststellung der persönlichen Eigenschaften der Teilnehmer wurden sie nach ihrer Fahrleistung befragt; als Erstes nach der ungefähren Anzahl gefahrener Kilometer pro Jahr (Frage 101). Die Antworten auf diese Frage sind in Abb. 5.43 dargestellt.

Die Verteilung bei den 26- bis 50jährigen ist der der über 50jährigen sehr ähnlich: Der Anteil derer, die unter 10.000 km pro Jahr fahren, beträgt 36 bzw. 32 Prozent, bei 10.000 bis 30.000 km sind es 44 bis 49 Prozent und 20 bzw. 19 Prozent fahren mehr als 30.000 km pro Jahr. Bei den Teilnehmern, die 25 Jahre und jünger waren, sind die Werte anders verteilt: Nur 8 Prozent fahren mehr als 30.000 km pro Jahr, 31 Prozent zwischen 10.000 und 30.000 km pro Jahr und der größte Teil mit 62 Prozent unter 10.000 km pro Jahr.

Die folgenden beiden Fragen stellten fest, wie oft im Winter vor 8 Uhr morgens (Frage 102) bzw. nach 17 Uhr abends gefahren wurde (Frage 103). Beim morgendlichen Fahren (Abb. 5.44a) waren die Antworten in den verschiedenen Altersgruppen unterschiedlich verteilt, wobei auffällig war, dass die Antwort „nie“ von 21 Prozent der 18- bis 25jährigen, von 13 Prozent der 26- bis 50jährigen, aber nur von 2 Prozent der 51- bis 70jährigen ausgewählt wurde. Insgesamt wurde die Antwort „oft“ in 42 Prozent der Fälle ausgewählt, die Antwort selten in 44 Prozent.

In den winterlichen Abendstunden wurde insgesamt häufiger gefahren (Abb. 5.44b): 66 Prozent aller Teilnehmer beantworteten diese Frage mit „oft“, 31 Prozent mit „selten“ und nur 3 Prozent mit „nie“. Die Antworten dieser Frage verteilten sich eher homogen über die Altersgruppen, wobei die 51- bis 70jährigen die Antwort „selten“ etwas häufiger nannten als die übrigen Teilnehmer (siehe Anhang unter A.5.2, S. 146).

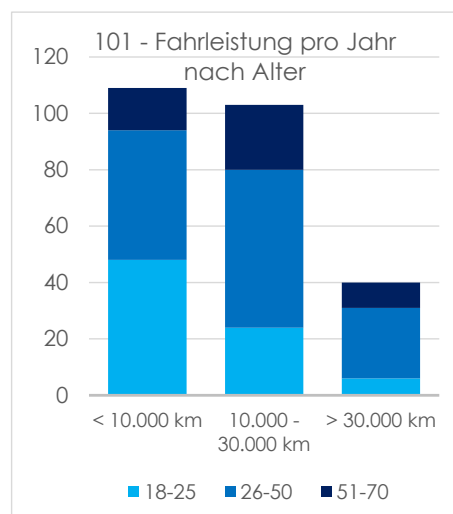


Abbildung 5.43.: Fahrleistung nach Altersgruppe. Es wurden 252 gültige Antworten gegeben.

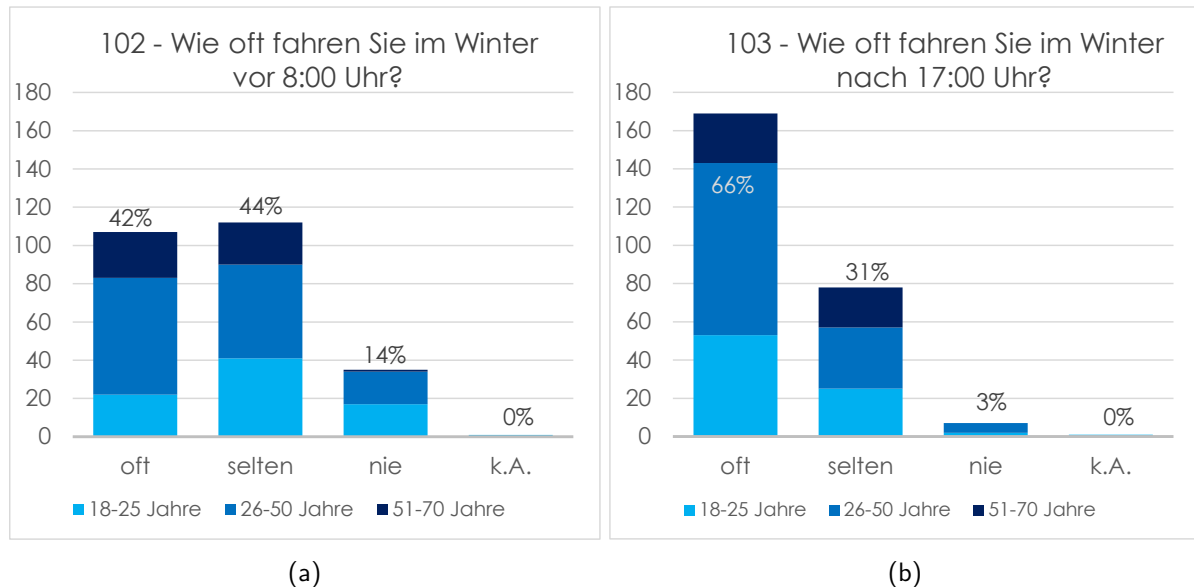


Abbildung 5.44.: Einschätzung der Teilnehmer, wie oft sie (a) im Winter vor 8 Uhr bzw. (b) nach 17 Uhr Auto fahren. Die y-Achse gibt die Anzahl der Nennungen wieder. Es wurden in beiden Fällen 254 gültige Antworten gegeben.

5.5.2 Kategorie Dunkelheit allgemein

Die erste Frage in diesem Komplex (Frage 201) stellte fest, ob das Fahren bei Dunkelheit als anstrengender empfunden wird als bei Tag. Mit fast 77 Prozent beantworteten über drei Viertel der Teilnehmer das Fahren im Dunkeln als anstrengender. Dies gilt besonders für die Altersgruppen 26 bis 50 Jahre und 51 bis 70 Jahre. Die Teilnehmer im Alter von 18 bis 25 beurteilten mit etwa 39 Prozent das Fahren bei Dunkelheit als nicht anstrengender als am Tag. Die Ergebnisse dieser Frage sind in Abb. 5.45a dargestellt.

Anschließend wurde in Frage 202 abgefragt, in welcher Umgebung – Autobahn, Landstraße oder in der Stadt – das Fahren bei Dunkelheit am anstrengendsten empfunden wird. Mit knapp 65 Prozent wurde die Umgebung Landstraße mit Rang 1, also am anstrengendsten, bewertet. Auf Rang 2 wurde mit 44,6 Prozent mehrheitlich die Umgebung Autobahn gesetzt. Hier sehen jedoch viele (36,8 Prozent) die Autobahn auf Rang 3. Die Umgebung Stadt wird von 53,3 Prozent der Teilnehmer auf Rang 3 und damit als am wenigsten anstrengend gesehen. Die Bewertungen werden in den Abb. 5.45b sowie A.3 und A.4 (S. 147 im Anhang) gezeigt.

Hier ist in den beiden Altersgruppen zwischen 18 und 25 bzw. zwischen 51 und 70 Jahren die Verteilung ähnlich: Mit 71,4 bzw. 75 Prozent wird die Landstraße in der Nacht als am anstrengendsten bewertet, während Autobahn und Stadt von der Mehrheit (48 und 44,2 bzw. 43,2 und 52,2 Prozent) auf Rang 3 und von jeweils etwas weniger auf Rang 2 gesehen werden.

Die Altersgruppe zwischen 26 und 50 Jahren sieht ebenfalls die Landstraße mit 57 Prozent als am anstrengendsten. Durch die Teilnehmer dieser Altersgruppe wird jedoch die Autobahn mit knapp 50 Prozent deutlich auf Rang 2 platziert, die innerstädtische Umgebung mit 59,5 Prozent klar auf Rang 3. Die Ergebnisse sind tabellarisch und grafisch im Anhang unter A.5.2 (S. 146) dargestellt.

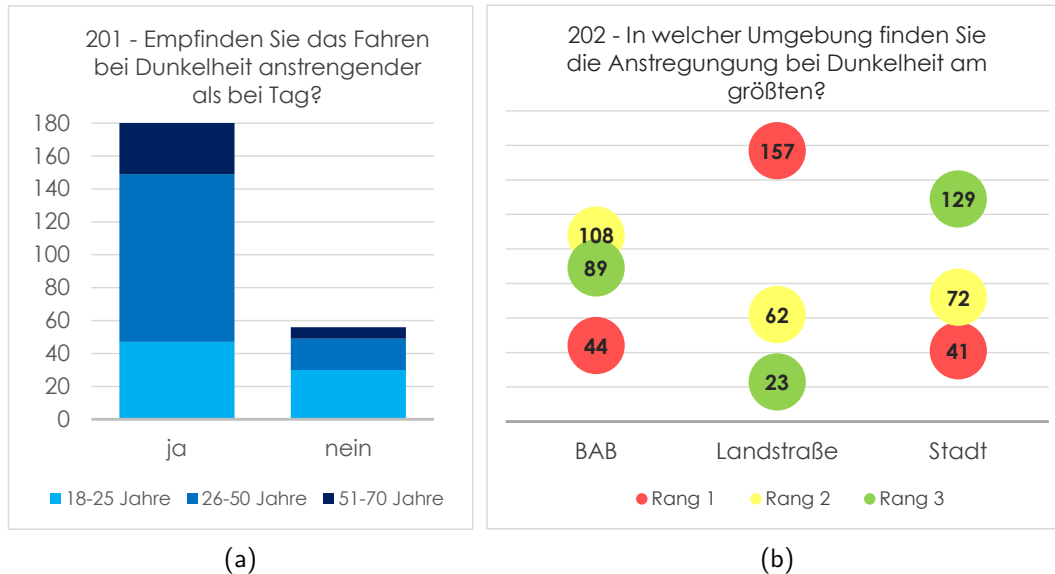


Abbildung 5.45.: (a) Ergebnisse der Frage, ob es anstrengender ist, bei Dunkelheit zu fahren, geordnet nach Altersgruppen. Es wurden 243 gültige Antworten gegeben. (b) In welcher Umgebung wird das Fahren bei Dunkelheit als am anstrengendsten empfunden? Es wurden 242 gültige Antworten gegeben.

5.5.3 Kategorie Straßenbeleuchtung

Die Fragen 301 bis 303 befassen sich damit, ob Straßenbeleuchtung in den verschiedenen Umgebungen als hilfreich oder störend empfunden wird. Die Antworten auf diese Fragen sind in Abb. 5.46 und für die verschiedenen Altersgruppen im Anhang in den Abb. A.5 und A.6 dargestellt (S. 149). Über alle Altersgruppen hinweg wird Straßenbeleuchtung überwiegend als hilfreich eingeschätzt, wobei die Bewertungen für die verschiedenen Umgebungen stark variieren.

In der Stadt sehen mit 205 von 243 Teilnehmern 84 Prozent die Straßenbeleuchtung als hilfreich an, 12 Prozent (30 Teilnehmern) ist es egal und nur acht Teilnehmer, was drei Prozent entspricht, fühlen sich dadurch gestört. Auf der Landstraße wird von 144 Teilnehmern (59 Prozent) Straßenbeleuchtung als hilfreich begrüßt, während 51 Teilnehmer oder 21 Prozent hier gleichgültig sind. 26 Teilnehmer oder 11 Prozent finden Straßenbeleuchtung auf der Landstraße störend.

Für Straßenbeleuchtung auf Autobahnen sind 107 Teilnehmer, mit 44 Prozent also deutlich weniger als in den übrigen Umgebungen. 68 Teilnehmern (28 Prozent) ist diese egal und 42 Teilnehmer oder 17 Prozent finden Straßenbeleuchtung hier eher störend. Diese Verteilung ist für die drei betrachteten Altersgruppen in etwa gleich. Die Daten dazu sind grafisch und tabellarisch im Anhang unter A.5.2 auf S. 149 zu finden.

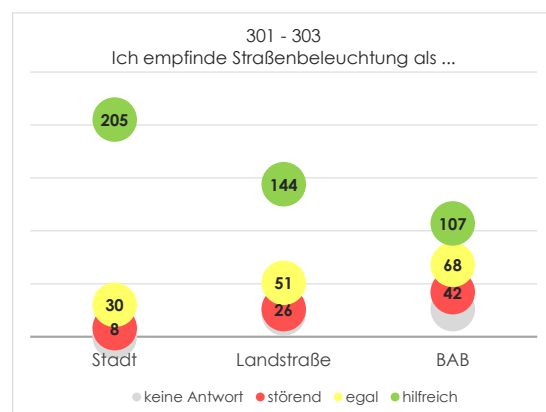


Abbildung 5.46.: Bewertung von Straßenbeleuchtung in verschiedenen Umgebungen. Es wurden von 243 Personen gültige Antworten gegeben.

Frage 304 ermittelte, aus welchen Gründen Straßenbeleuchtung als hilfreich angesehen wurde, wobei mit 166 von 243 Teilnehmern 68 Prozent angaben, dass sie allgemein half, besser zu

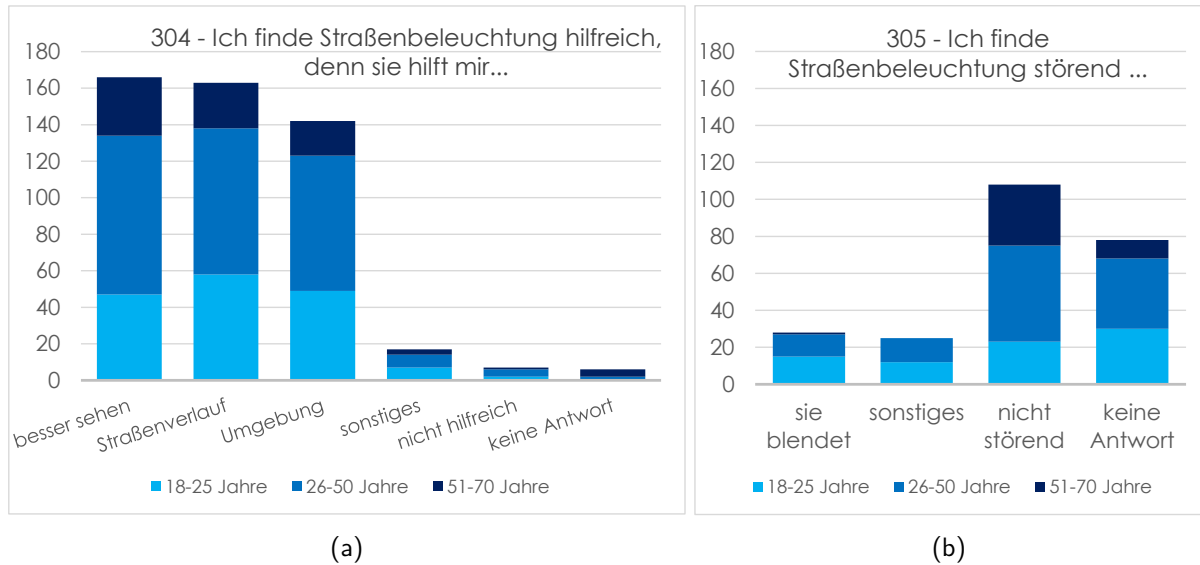


Abbildung 5.47.: (a) Gründe, aus denen Straßenbeleuchtung als hilfreich angesehen wird, geordnet nach Altersgruppen. (b) Gründe, aus denen Straßenbeleuchtung als störend angesehen wird, geordnet nach Altersgruppen. Es wurden in beiden Fällen von 243 Personen gültige Antworten gegeben; Mehrfachnennungen waren bei diesen Fragen möglich.

sehen. 67 Prozent (163 Teilnehmern) hilft sie, den Straßenverlauf besser zu erkennen, und 58 Prozent (142 Teilnehmer) erkennen damit die Umgebung besser (Abb. 5.47a). Sieben Prozent gaben sonstige Gründe an, drei Prozent empfinden Straßenbeleuchtung als nicht hilfreich. Bei der Betrachtung der verschiedenen Altersgruppen ist interessant, dass die 18- bis 25jährigen mit 75 Prozent als häufigsten Grund angeben, den Straßenverlauf besser erkennen zu können, bzw. mit 64 Prozent das Erkennen der Umgebung, während dies bei den 51- bis 70jährigen 56 bzw. 42 Prozent angeben. Bei den 26- bis 50jährigen liegen diese Werte bei 66 bzw. 61 Prozent. Die Werte zu diesen Verteilungen sind im Anhang unter A.5.2 auf S. 149 zu finden.

Das Stören von Straßenbeleuchtung wurde in Frage 305 abgefragt. 28 Teilnehmer (12 Prozent) gaben an, dass sie Straßenbeleuchtung wegen Blendung als störend empfinden, weitere 25 Teilnehmer (zehn Prozent) empfinden sie aus anderen Gründen als störend. Die Mehrheit mit 44 Prozent oder 108 Teilnehmern findet Straßenbeleuchtung nicht störend oder gab mit 32 Prozent (78 Teilnehmern) keine Antwort. Die Ergebnisse sind in Abb. 5.47b dargestellt. Hier gab es starke Schwankungen in den Bewertungen durch die verschiedenen Altersgruppen: Die älteren bewerteten die Straßenbeleuchtung zu 73 Prozent als nicht störend oder gaben mit 22 Prozent keine Antwort. Von den jüngeren empfanden hingegen 19,5 Prozent eine Störung durch Blendung und 16 Prozent aus anderen Gründen. Nur 30 Prozent fanden die Beleuchtung nicht störend, allerdings gaben 39 Prozent keine Antwort. Die Gruppe der 26- bis 50jährigen lag jeweils im Mittelfeld (Daten siehe A.5.2, Tabellen A.18 und A.19 auf S. 150).

Die Teilnehmer hatten hier die Möglichkeit, in einem freien Text zu äußern, warum sie Straßenbeleuchtung als hilfreich oder störend empfinden. Die Ergebnisse sind im Folgenden aufgeführt (vgl. Tabellen 5.8 und 5.9). Von 243 Teilnehmern haben 17 bzw. 24 eine Antwort gegeben.

Als hilfreich wird vor allem das Erkennen von Fußgängern und Fahrradfahrern angegeben. Die Gründe des Störens sind vielfältiger. Ein paar Mal wird hier Ablenkung oder Verwirrung genannt, ein paar Mal auch die Lichtimmission als Umweltverschmutzung.

Tabelle 5.8.: Durch die Teilnehmer eingegebene Gründe, aus denen Straßenbeleuchtung als hilfreich angesehen wird, geordnet nach Altersgruppen.

18 bis 25 Jahre	26 bis 50 Jahre	51 bis 70 Jahre
<p>Radfahrer und Fußgänger sind besser zu sehen.</p> <p>Fußgänger in dunklen Straßenabschnitten sehen.</p> <p>Personen frühzeitig zu sehen.</p> <p>Entfernungen einschätzen.</p> <p>Fußgänger und Tiere zu erkennen.</p> <p>Dämmt das Gegenverkehrslicht.</p> <p>Hausnummern zu erkennen.</p>	<p>Mindert den Kontrast von hell/dunkel.</p> <p>Blendwirkung zu vermindern.</p> <p>Das gefühlte Blenden des Gegenverkehrs wird reduziert.</p> <p>Blendung nicht so störend.</p> <p>Manchmal blendet sie mich, wenn die Beleuchtung zu hell eingestellt ist.</p> <p>Sollte generell vorhanden sein.</p> <p>Personen und besondere Stellen beleuchten (z.B. Kreuzungen farblich anders).</p>	<p>Fußgänger sind besser zu sehen.</p> <p>Entgegenkommende Fahrzeuge stören weniger.</p> <p>Fußgänger am Straßenrand sind besser zu erkennen.</p>

Tabelle 5.9.: Durch die Teilnehmer eingegebene Gründe, aus denen Straßenbeleuchtung als störend angesehen wird, geordnet nach Altersgruppen.

18 bis 25 Jahre	26 bis 50 Jahre
<p>Wenn es Lichtschatten gibt.</p> <p>Übersehen von Schildern möglich.</p> <p>Lenkt ab.</p> <p>Weil sie nicht nur das Wesentliche beleuchtet.</p> <p>Bei weißem Licht. Blendet.</p> <p>Störend bei verschmutzter Scheibe.</p> <p>Verwirrt manchmal und verringert Kontraste.</p> <p>Sie irritiert und lässt mich Ampeln schwierig und vor allem spät zu erkennen.</p> <p>Bei nasser Fahrbahn.</p> <p>Autoscheinwerfer blenden besonders.</p> <p>Auf Landstraßen meist zu hell und unnötig.</p> <p>Große hell-dunkel Unterschiede, schlechte Farben bei Na-Lampen (gelb).</p>	<p>Unnatürliche Farben.</p> <p>Verwirrend.</p> <p>Wird zu oft unsinnig eingesetzt und zerstört die (dunkle) Nacht.</p> <p>Für Tiere.</p> <p>Störend, wenn Wechsel zw. beleuchteten u. unbeleuchteten Straßenabschnitten.</p> <p>Verfälscht die Farben der Schilder bzw. der Umgebung.</p> <p>Bei Wechsel wegen Umgewöhnung.</p> <p>Denn sie verschwendet auch Energie.</p> <p>Ablenkung.</p> <p>Beim Schlaf.</p> <p>Lichtverschmutzung / Energieverbrauch.</p> <p>Störende Straßenbeleuchtung, wenn Lichtfarbe sehr gelb-orange ist. Nach längerer Autofahrt empfinde ich die Abfahrt am Hbf als unangenehm.</p>

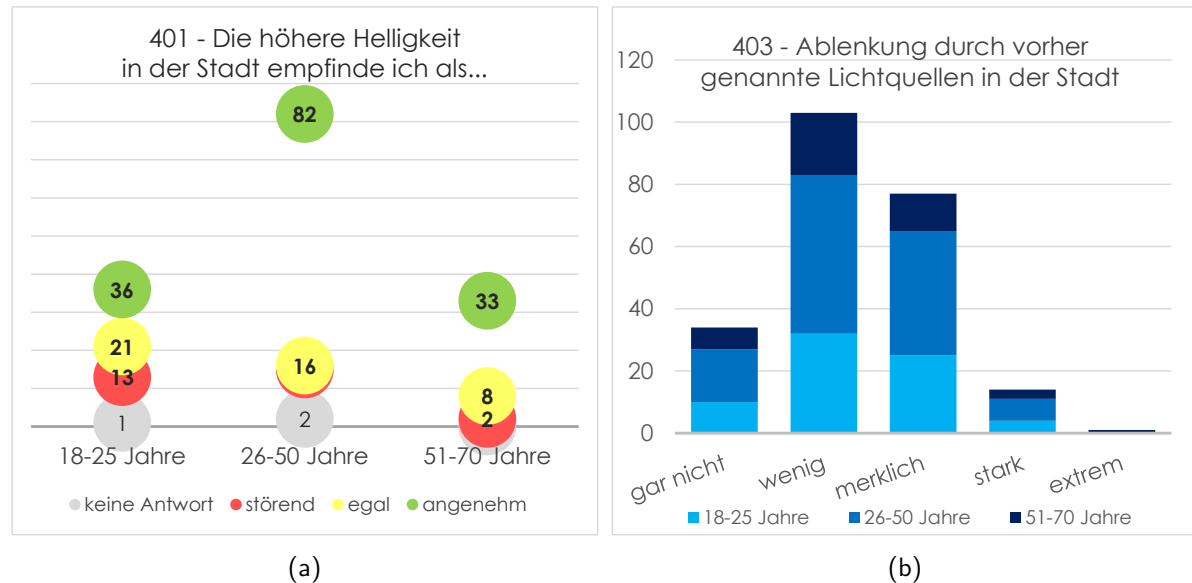


Abbildung 5.48.: (a) Wirkung der höheren Helligkeit in Innenstädten, geordnet nach Altersgruppen. (b) Ablenkung durch verschiedene Lichtquellen in Innenstädten. Es wurden in beiden Fällen von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

5.5.4 Kategorie Ablenkung

Wie in Frage 401 festgestellt wird, wird die höhere Helligkeit in der Stadt überwiegend als angenehm empfunden, wobei diese Aussage am stärksten in der Altersgruppe zwischen 26 und 50 Jahren ausgeprägt ist (Abb. 5.48a). Hier bewerten mit 151 von 229 Teilnehmern 66 Prozent die höhere Helligkeit als angenehm. Der Anteil derer, die die höhere Umgebungshelligkeit als hilfreich empfinden, steigt mit dem Alter von 51 auf 77 Prozent, während der Anteil derer, die sie als störend empfinden, von 18 auf fünf Prozent sinkt (siehe Tabelle A.20, S. 151).

Die folgende Frage 402 befasste sich mit der Störung durch verschiedene Arten von Lichtquellen, die nicht der Straßenbeleuchtung zuzuordnen sind: beleuchtete Gebäude, Leuchtreklamewände, beleuchtete Tankstellen, Strahler auf Gebäuden und Videowände. Die Teilnehmer sollten diese Lichteinflüsse danach ordnen, als wie störend sie sie empfanden; es konnten die Rangplätze 1 bis 5 vergeben werden. Die Ergebnisse sind in Abb. 5.49a als Boxplot dargestellt.

Der horizontale Balken, um den die Box gelegt wird, ist der Median der Verteilung. Es liegen also gleich viele Bewertungen über wie unter diesem Wert. Die Grenzen der Box stellen das erste bzw. dritte Quartil dar. Es liegen folglich mindestens 50 Prozent der Bewertungen innerhalb der Box. In diesem Fall können auch über 50 Prozent der Bewertungen innerhalb der Box liegen, da die Bewertungen nur diskrete Werte annehmen können. Im Boxplot lässt sich die zentrale Tendenz der Verteilung erkennen, also repräsentative Lagemaße (hier: Median) sowie die Streuung und gegebenenfalls die Schiefe der Verteilung.

Es zeigt sich, dass die Bewertungen für die Einflüsse „beleuchtete Gebäude“ und „Strahler auf Gebäuden“ gleichmäßig um den dritten Rang verteilt sind und dass mindestens 50 Prozent der Teilnehmer eine Bewertung zwischen Rang 2 und 4 gewählt haben. Bei Tankstellen als Lichteinfluss liegt der Median bei Rang 5, das dritte Quartil bei Rang 4. Tankstellen werden also als am wenigsten störend empfunden. Leuchtreklamewände werden mehrheitlich mit Rang 3 bewertet, es liegt jedoch eine Tendenz zu Rang 2 vor. Videowände werden als am meisten

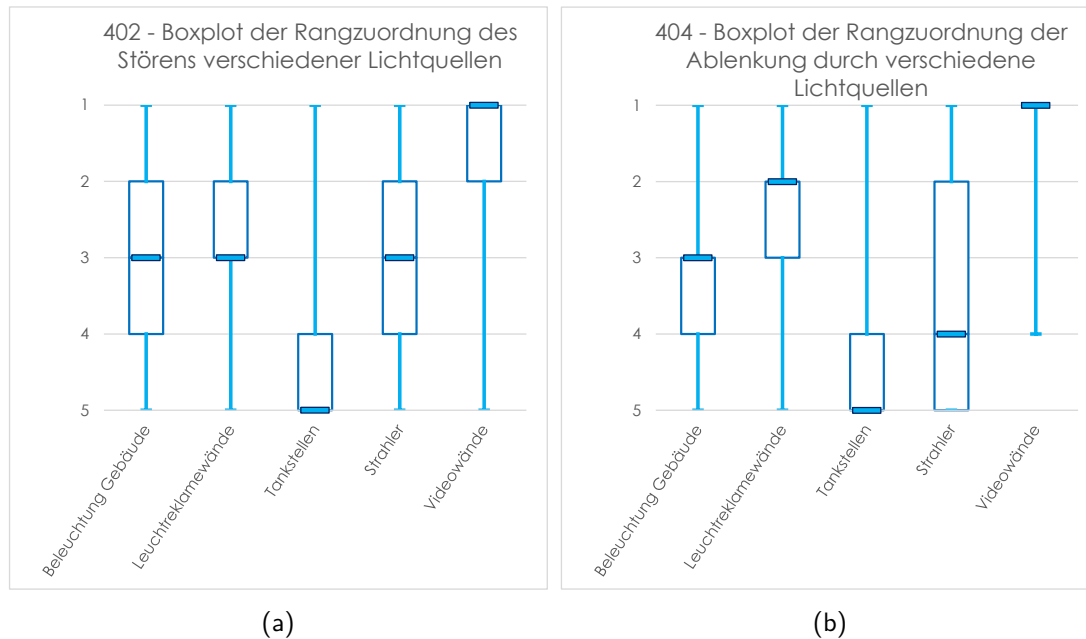


Abbildung 5.49.: (a) Rangzuordnung verschiedener Lichtquellen danach, wie störend sie empfunden werden. Dabei ist 1 der höchste und 5 der niedrigste Wert. (b) Rangzuordnung verschiedener Lichtquellen danach, wie hoch die Ablenkung empfunden wird. Dabei ist 1 der höchste und 5 der niedrigste Wert. Die Mediane im Boxplot zeigen die *zentrale Tendenz*. Es wurden in beiden Fällen von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

störend empfunden, sie werden sehr häufig (73 Prozent) mit Rang 1 bewertet. Die Bewertungen in den verschiedenen Altersgruppen sind sehr ähnlich (siehe Tabelle A.21, S. 151).

In Frage 403 sollte die Gesamtheit dieser Lichteinflüsse danach bewertet werden, wie stark sie in der Stadt als Ablenkung wirkt. Wie Abb. 5.48b rechts zeigt, bewerten mit 45 Prozent die meisten die Ablenkung als „wenig“, aber auch einige (34 Prozent) als „merklich“. Die Bewertungen „stark“ und „extrem“ werden mit 6 und 0,4 Prozent seltener genannt. Hingegen fühlen sich 15 Prozent durch die Lichteinflüsse in der Stadt gar nicht abgelenkt. Die Verteilung der Bewertungen in den verschiedenen Altersgruppen ist analog zur Gesamtverteilung (siehe Abschnitt A.5.2, Tabelle A.22 S. 152 im Anhang).

Auch die Ablenkung sollte ebenso wie die Störung durch Lichteinflüsse in eine Rangfolge gebracht werden. Die Ergebnisse werden auch für diese Frage in einem Boxplot dargestellt (Abb. 5.49b). Die Ausprägung ist ähnlich wie die der Störung, wobei man erkennt, dass es leichte Unterschiede gibt: Videoleinwände liegen eindeutig auf Rang 1 (163 Nennungen bzw. 78 Prozent), Strahler auf Gebäuden und beleuchtete Gebäude werden tendenziell etwas niedriger bewertet, lenken also weniger ab als sie stören. Bei Leuchtreklamewänden ist die Tendenz eher zum niedrigeren Rang 2 - sie lenken also etwas mehr ab als dass sie stören. Tankstellen werden als ebenso wenig ablenkend wie störend empfunden und landen wieder eindeutig auf Rang 5 (Verteilung der Altersgruppen analog, siehe Tabelle A.23, S. 152 im Anhang).

Die Fragen 405 und 406 beschäftigten sich mit der Ablenkung der Autofahrer auf Landstraßen durch beleuchtete Tankstellen oder Industrieanlagen in der Dunkelheit (Abb. 5.50). Durch Tankstellen fühlten sich die Teilnehmer zu 37 Prozent „gar nicht“ (84 von 229 Nennungen) bzw. zu 46 Prozent „wenig“ abgelenkt (106 Nennungen). 14 Prozent wurden „merklich“ und 2 Prozent „stark“ abgelenkt.

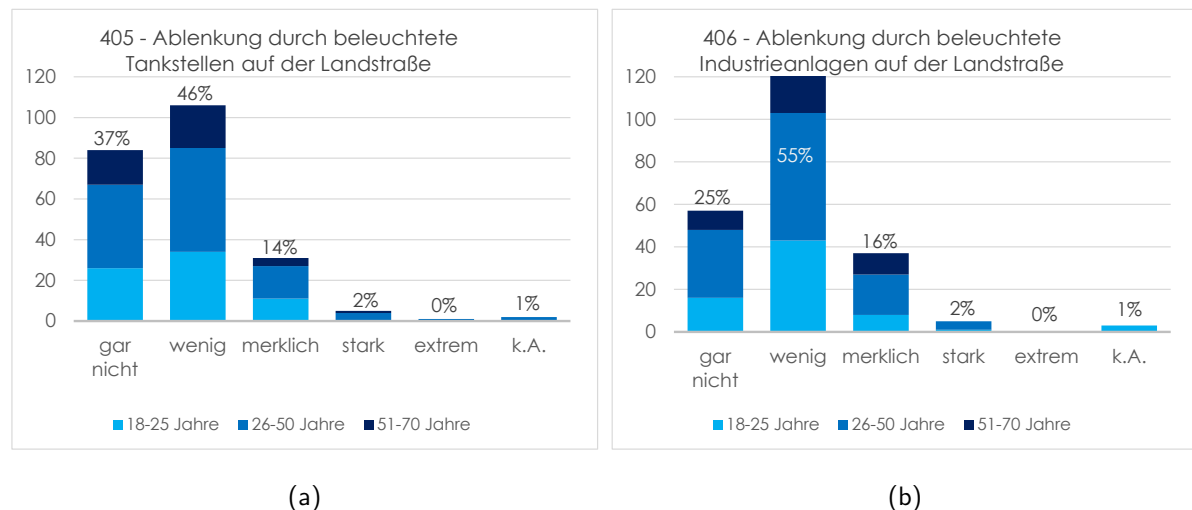


Abbildung 5.50.: Ablenkung durch (a) beleuchtete Tankstellen bzw. (b) beleuchtete Industrieanlagen beim Fahren auf der Landstraße bei Dunkelheit. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtheit der Antworten. Es wurden in beiden Fällen von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

Durch beleuchtete Industrieanlagen wurden 55 Prozent (127 Nennungen) wenig abgelenkt, was damit am häufigsten gewählt wurde. 25 Prozent fühlen sich gar nicht abgelenkt, 16 Prozent merklich. Auch hier wurde von zwei Prozent eine starke Ablenkung angegeben.

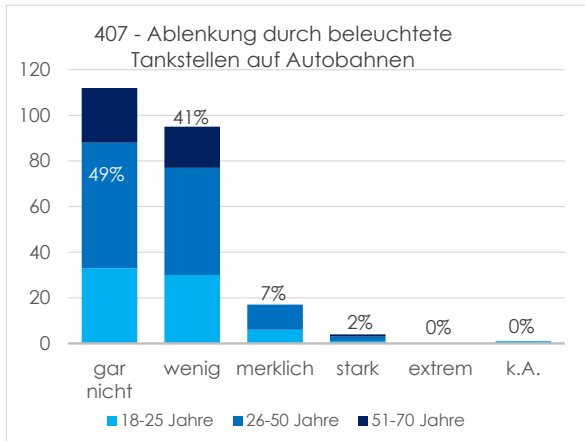
Die Verteilung der Antworten in den drei Altersgruppen ist für die Fragen 405 und 406 analog zur Gesamtverteilung (siehe Tabellen A.24 und A.25 im Anhang unter Abschnitt A.5.2, S. 153).

Die gleichen Fragen wurden auch für die Umgebung „Autobahn“ gestellt: Frage 407 ermittelte die Ablenkung durch beleuchtete Tankstellen, Frage 408 die Ablenkung durch beleuchtete Industrieanlagen beim Fahren im Dunkeln (Abb. 5.51). 49 Prozent der Teilnehmer fühlen sich durch beleuchtete Tankstellen „gar nicht“ vom Fahren abgelenkt, 41 Prozent nur „wenig“. Sieben Prozent empfinden die Ablenkung durch beleuchtete Tankstellen als „merklich“, zwei Prozent als „stark“. Die Verteilung der Bewertungen in den Altersgruppen entspricht in etwa der Gesamtverteilung, abgesehen vom Fehlen der Bewertung „merklich“ bei den 51- bis 70jährigen.

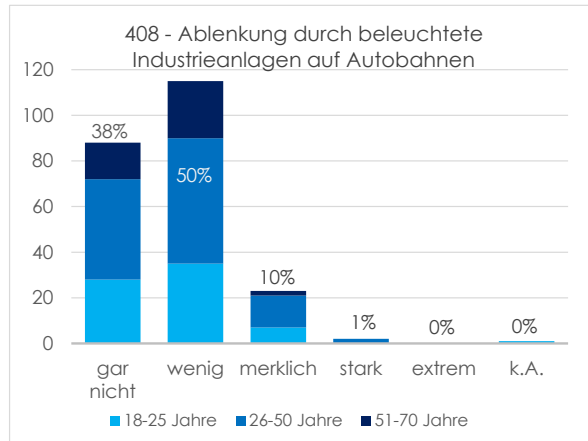
Die Ablenkung durch beleuchtete Industrieanlagen an Autobahnen wurde durch 38 Prozent der Teilnehmer mit „gar nicht“ beurteilt, von 50 Prozent mit „wenig“. Zehn Prozent bewerteten sie mit „merklich“, ein Prozent mit „stark“. Auch hier verhalten sich die Gesamtverteilung und die Verteilung der Bewertungen in den Altersgruppen analog, wobei sich die Älteren insgesamt etwas weniger abgelenkt fühlen (Daten auf S. 153 im Anhang).

Die Wirkung verschiedener Farben von Lichtquellen auf Ablenkung bzw. Störung beim Autofahren wurde in den Fragen 409 und 410 abgefragt. Die Ergebnisse sind in Abb. 5.52 dargestellt. Es konnten drei Farben aus der Menge weiß, gelb, orange, rot, violett, blau und grün mit den Rängen 1 bis 3 bewertet werden, wobei jeder Rang nur ein Mal vergeben werden konnte.

Als am ehesten störende Farben wurde weiß mit 55 Nennungen auf Rang 1 gesetzt, was 31 Prozent entspricht. Es folgten rot mit 46 Nennungen (26 Prozent) und blau mit 33 Nennungen (19 Prozent). Auf den Rängen 2 und 3 waren die Nennungen über die Farben etwa gleich verteilt. In der Anzahl aller Nennungen insgesamt sind ebenfalls weiß, rot und blau mit 96, 93 bzw. 76 von 498 Nennungen am häufigsten. In den Altersgruppen zwischen 18 und 50 Jahren



(a)

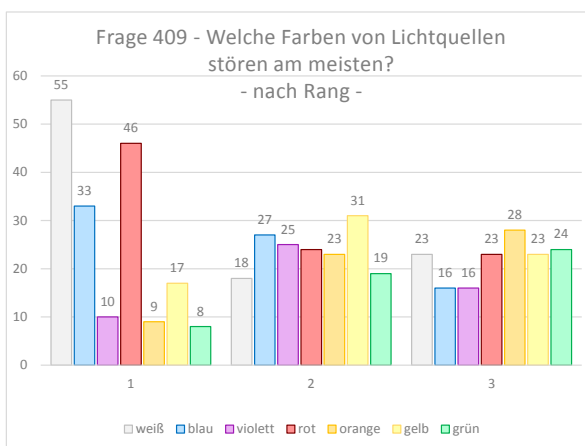


(b)

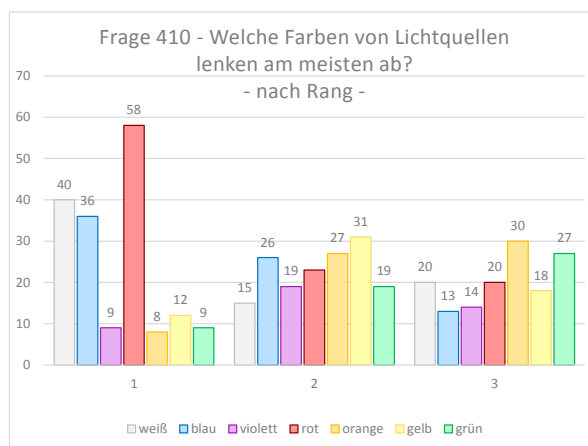
Abbildung 5.51.: Ablenkung durch (a) beleuchtete Tankstellen bzw. (b) beleuchtete Industrieanlagen beim Fahren auf der Autobahn bei Dunkelheit. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtheit der Antworten. Es wurden in beiden Fällen von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

sind die Farbbewertungen etwa gleich verteilt, bei den Älteren dominiert die Farbe rot, während weiß eher seltener genannt wird.

Bei den Bewertungen der Ablenkung durch die Farbe liegt rot mit 58 Nennungen auf Rang 1 (34 Prozent) vor weiß mit 40 und blau mit 36 Nennungen, was 23 bzw. 21 Prozent entspricht. Auf den Rängen 2 und 3 ist keine eindeutige Tendenz zu erkennen. In der Gesamtverteilung aller Nennungen werden ebenfalls rot, blau und weiß mit 101, 75 und nochmals 75 Angaben am häufigsten genannt. Auch hier sind in den jüngeren beiden Altersgruppen die Bewertungen in etwa gleich verteilt, während bei der Altersgruppe ab 51 Jahren die Farben rot sowie gelb und orange in Relation häufiger genannt werden, blau, weiß und grün seltener. Alle Daten zu den Fragen 409 und 410 sind im Anhang in den Tabellen A.28 und A.29 (S. 155) zu finden.



(a)



(b)

Abbildung 5.52.: Häufigkeit der Zuordnung der Farben von Lichtquellen zu den Rängen 1 bis 3 danach, wie sehr sie (a) stören oder (b) ablenken. Es wurden in beiden Fällen von 178 Personen gültige Antworten gegeben.

In Frage 411 wurde auch die Ausdehnung der Lichtquelle einbezogen (Abb. 5.53). Als am meisten störend wurden mit 59 Prozent (136 Nennungen) große, helle Lichtquellen genannt, gefolgt

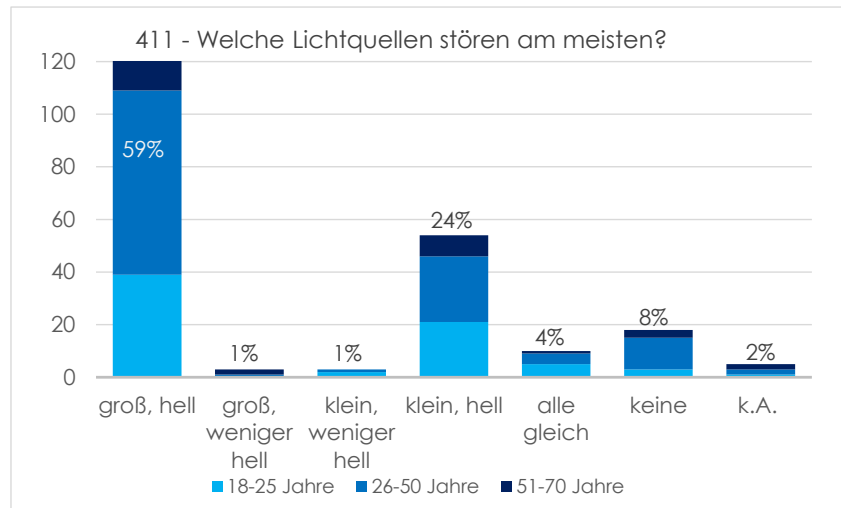


Abbildung 5.53.: Eigenschaften von Lichtquellen, die als am meisten störend empfunden werden, den Altersgruppen zugeordnet. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtheit der Antworten. Es wurden von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

von kleinen, hellen Lichtquellen mit 24 Prozent (54 Nennungen). Acht Prozent der Teilnehmer wählten die Option „keine“, vier Prozent die Option „alle gleich“. Weniger helle Lichtquellen wurden nur in zwei Prozent der Fälle genannt. Vergleicht man die Bewertungen in den Altersgruppen, so wird „groß, hell“ mit steigendem Alter als störender empfunden – der Anteil steigt von 55 auf 63 Prozent. Kleine, helle Lichtquellen werden als weniger störend empfunden – hier sinkt der Anteil von 30 auf 19 Prozent. Die Daten hierzu sind im Anhang in Tabelle A.30 (S. 156) zu finden.

Anschließend wurden in Frage 412 dynamische Eigenschaften von Lichtquellen bewertet (Abb. 5.54). Zunächst wurde die Ablenkung durch blinkende Lichtquellen abgefragt, wobei mit 36 und 28 Prozent der Schwerpunkt der Antworten bei „merklich“ und „stark“ lag. 16 Prozent antworteten mit „wenig“, 14 Prozent mit „extrem“. Vier Prozent fühlten sich durch blinkende Lichtquellen „gar nicht“ abgelenkt. Bei der Ablenkung durch Farbwechsel waren die Antworten fast symmetrisch um die Option „merklich“ verteilt, die mit 34 Prozent am häufigsten genannt wurde. Die Möglichkeiten „wenig“ bzw. „stark“ wurden von 24 bzw. 26 Prozent genannt, „gar nicht“ mit fünf und „extrem“ mit neun Prozent. Läuft ein Film oder wird ein Lauftext gezeigt, fühlen sich die meisten der Teilnehmer mit 31 Prozent „merklich“ oder mit 28 Prozent „stark“ abgelenkt. 20 Prozent empfinden die Ablenkung als „wenig“, 14 Prozent als „extrem“. Sechs Prozent fühlen sich „gar nicht“, abgelenkt. Bei bewegten Lichtquellen wird die Ablenkung insgesamt als stärker eingestuft: 34 Prozent fühlen sich „merklich“ abgelenkt, 30 „stark“, und 17 Prozent „extrem“. Nur 13 Prozent werden „wenig“ abgelenkt, sechs Prozent „gar nicht“. Die Bewertungsverteilung in den Altersgruppen ist ungefähr gleich. Bei Film/Lauftext oder einer bewegten Lichtquelle steigt die empfundene Ablenkung mit dem Alter etwas an (Daten in Tabelle A.31 bis A.34 im Anhang unter A.5.2, S. 156).

5.5.5 Weitere Fragen

Frage 501 befasste sich mit der gewünschten Helligkeit der Innenraumbeleuchtung der Fahrzeuge. Hier bevorzugten 47 Prozent einen eher dunklen Innenraum, 29 Prozent einen dunklen Innenraum mit hellen Bereichen. 17 Prozent würden eine mittlere Helligkeit der Innenraumbeleuchtung wählen, vier Prozent der Teilnehmer möchten diese lieber hell, zwei Prozent war es

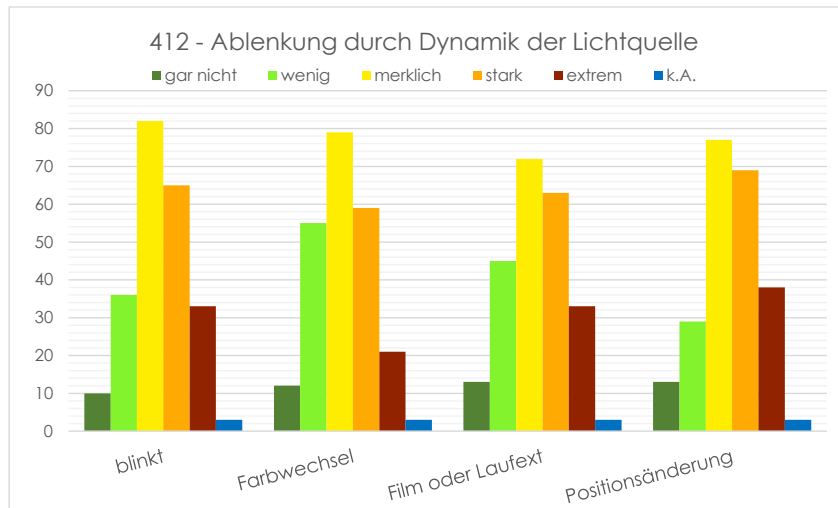


Abbildung 5.54.: Einstufung der Ablenkung durch dynamische Eigenschaften von Lichtquellen: Die Lichtquelle blinkt, wechselt die Farbe, zeigt einen Film oder einen Lauftext bzw. bewegt sich, wechselt also ihre Position. Es wurden von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

egal (Abb. 5.55). Die Verteilung in den Altersgruppen entspricht der Gesamtverteilung, wobei ein größerer Anteil der 26- bis 50jährigen die Option „dunkel, helle Bereiche“ wählte (33 Prozent) als in den anderen beiden Altersgruppen (27 bzw. 23 Prozent). Die zugrundeliegenden Daten sind in Tabelle A.35 (S. 158) im Anhang zu finden.

Die folgenden Fragen 502 bis 504 untersuchten den Einfluss des Verkehrsaufkommens auf die beim Fahren empfundene Anstrengung. Zunächst wurde dieser in innerstädtischer Umgebung abgefragt: Die in Abb. 5.56 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die empfundene Anstrengung mit steigendem Verkehrsaufkommen steigt, bis sie bei Stau wieder etwas nachlässt. Bei leeren Straßen überwiegt die Anzahl der Nennungen bei „gar keine“ die anderen bei weitem mit 65 Prozent. Bei geringem Verkehr ist die am häufigsten genannte Kategorie „wenig“ mit 47 Prozent, während bei hohem Verkehrsaufkommen „merklich“ mit 37 Prozent am häufigsten genannt wird und die weiteren Bewertungen etwa symmetrisch um diesen Wert verteilt sind. Bei Stau ist wieder die Bewertung „wenig“ mit 32 Prozent am häufigsten, allerdings mit Tendenz zu höheren Bewertungen. Bei der jüngeren Altersgruppe liegen die Bewertungen – außer auf leeren Straßen – immer etwas höher als bei den übrigen Teilnehmern (Daten in den Tabellen A.36 bis A.39 im Anhang unter A.5.2, ab S. 158).

Auf Landstraßen wird das Fahren im Dunkeln bei keinem bzw. geringem Verkehrsaufkommen als etwas anstrengender bewertet, obwohl auch hier die am häufigsten genannten Bewertungen „gar nicht“ mit 41 Prozent bzw. „wenig“ mit 49 Prozent sind. Bei viel Verkehr ist die Anstrengung für die meisten mit 38 Prozent „merklich“. Im Stau auf der Landstraße sinkt die Anstrengung wieder auf „wenig“ für 39 Prozent der Teilnehmer. Auf der Landstraße ist die Aufmerksamkeit bei den älteren Teilnehmern tendenziell etwas höher (Daten siehe A.5.2, Tabellen A.40 bis A.43, ab S. 159).

Die Verteilung der Bewertungen auf Autobahnen ist ähnlich: Ohne Verkehr bewerten 54 Prozent der Teilnehmer die Anstrengung mit „keine“ an; in der Altersgruppe 18 bis 25 Jahre sind dies sogar 69 Prozent. Bei geringem Verkehrsaufkommen finden die meisten (42 Prozent) die Anstrengung als „wenig“, gefolgt von „keine“ mit 36 Prozent. Bei viel Verkehr auf Autobahnen ist die Anstrengung für die meisten (33 Prozent) „merklich“, für fast so viele (29 Prozent) aber auch „wenig“. Im Stau sinkt die Anstrengung wieder und ist für die meisten mit 31 Prozent „we-

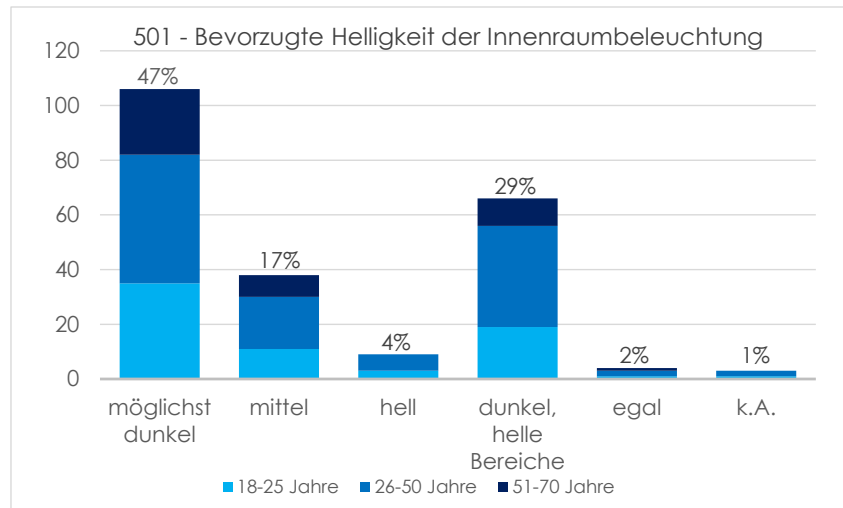


Abbildung 5.55.: Gewünschte Helligkeit der Innenraumbeleuchtung. Es wurden von 226 Personen gültige Antworten gegeben.

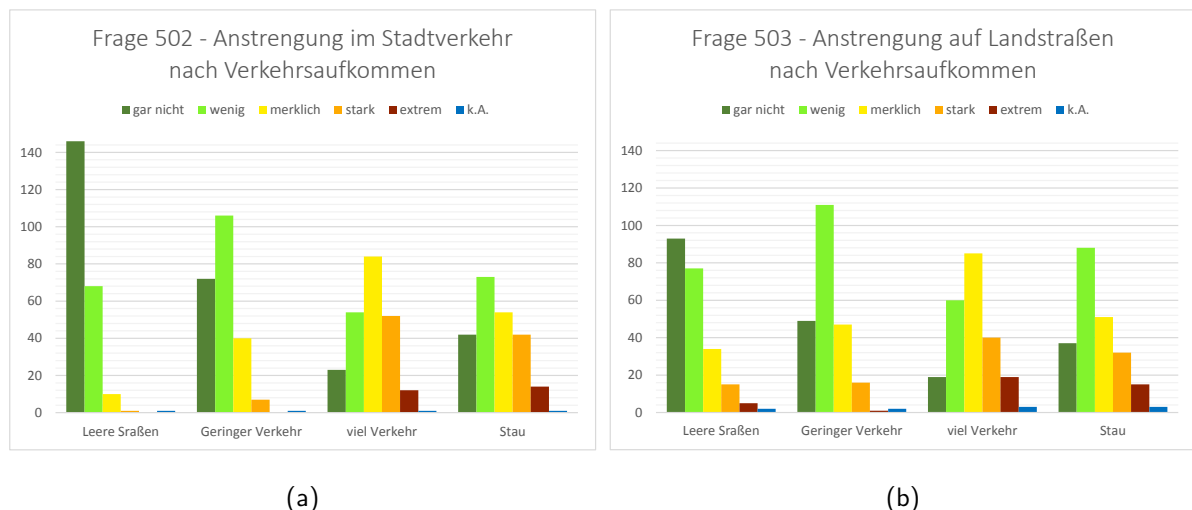


Abbildung 5.56.: Empfundene Anstrengung nach Verkehrsaufkommen (a) in der Stadt (b) auf der Landstraße. Es wurden in beiden Fällen von 226 Personen gültige Antworten gegeben.

nig“ vorhanden. Die Verteilung für die Altersgruppen entspricht in etwa der Gesamtverteilung, abgesehen von der oben genannten Abweichung bei leeren Straßen. Die Daten zu Frage 504 sind in A.5.2, Tabellen A.44 bis A.47, ab S. 160 zu finden. Die Ergebnisse der Fragen 502 bis 504 sind in den Abbildungen 5.56 bis 5.57 links dargestellt.

Das Stören der Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge wurde ebenfalls in den Umgebungen Stadt, Landstraße und Autobahn abgefragt (Abb. 5.57 rechts). Hier zeigt sich, dass die Scheinwerfer des Gegenverkehrs in der Stadt mit 51 Prozent am ehesten als „wenig“ störend empfunden werden. Auf Landstraßen werden sie durch die meisten mit 35 Prozent als „stark“ störend empfunden, durch 23 Prozent als „extrem“ störend, und 31 empfinden eine „mittlere“ Störung. Auf Autobahnen wird diese Störung als „mittel“ (30 Prozent) bzw. „wenig“ (29 Prozent) wahrgenommen. In den Altersgruppen unterscheiden sich hier die Bewertungen in gewissem Maße: In der Stadt liegt der Maximum bei allen drei Altersgruppen auf wenig. Die Streuung um diesen Wert erhöht sich aber mit steigendem Alter. Auf der Landstraße finden die meisten 18- bis 25jährigen die Störung als „stark“ mit 39 Prozent und mit 29 Prozent sogar als

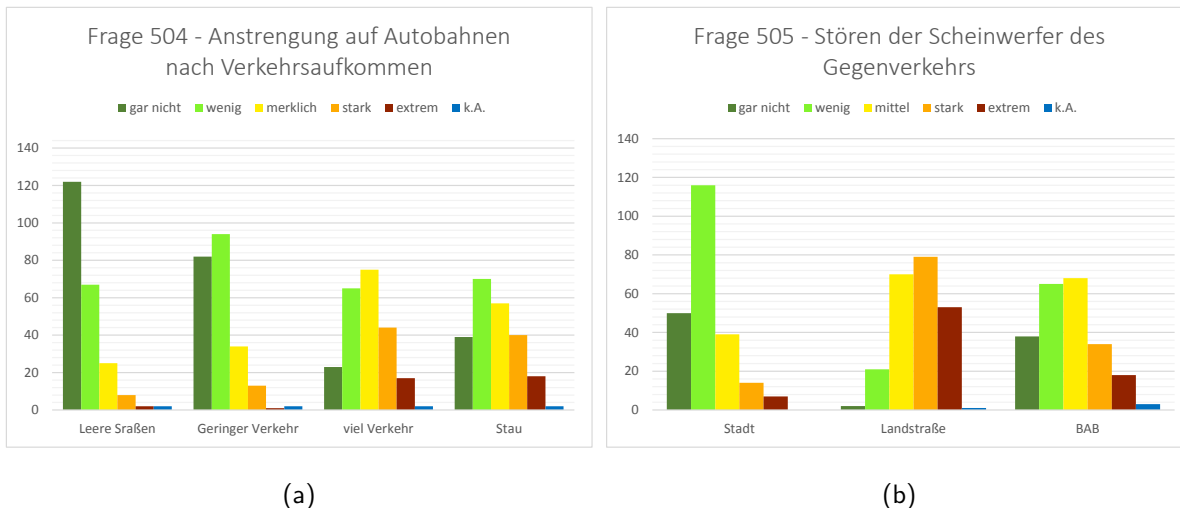


Abbildung 5.57.: Empfundene Anstrengung (a) nach Verkehrsaufkommen auf Autobahnen (b) durch Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge. Es wurden in beiden Fällen von 226 Personen gültige Antworten gegeben.

extrem, während bei den 26- bis 50jährigen die Bewertungen „stark“ und „mittel“ mit 36 bzw. 34 Prozent dominieren. Bei den Älteren liegt das Maximum bei „mittel“ mit 35 Prozent, und nur noch 26 Prozent empfinden die Störung als „stark“. Auf Autobahnen wiederum empfinden die 18- bis 25jährigen und die 51- bis 70jährigen die Störung eher als „wenig“ (34 bzw. 33 Prozent), die 26- bis 50jährigen empfinden sie allerdings zu 39 Prozent als stark. Auch diese Daten sind im Anhang unter A.5.2 (S. 162) zu finden (Tabellen A.48 bis A.50).

Frage 506 befasste sich mit den näheren Eigenschaften verschiedener Umgebungen. So wurde zunächst nach der Beanspruchung auf Hauptverkehrsstraßen in Städten gefragt, je nachdem, wie viele Fahrstreifen in Fahrtrichtung vorhanden waren. Es zeigt sich (Abb. 5.58 links), dass die Beanspruchung des Fahrers mit der Anzahl der Fahrstreifen steigt: Die Bewertungshäufigkeit der Option „wenig“ sank von 51 Prozent bei einem Fahrstreifen auf 26 Prozent bei vier oder mehr Fahrstreifen, während die Bewertung „mittel“ in etwa gleich häufig genannt wurde. Die Bewertungshäufigkeit „stark“ stieg mit der Anzahl der Fahrstreifen von einem auf 16 Prozent, „extrem“ von null auf sieben Prozent. Die Beanspruchung bei vier oder mehr Fahrstreifen wird allerdings immer noch überwiegend mit „wenig“ (26 Prozent) bzw. „mittel“ (ebenfalls 26 Prozent) bewertet. Die Verteilung der Bewertungen in den verschiedenen Altersgruppen entspricht grob der Gesamtverteilung, wobei die 26- bis 50jährigen die Situation häufig als etwas anspruchsvoller bewerteten als die übrigen Teilnehmer. Die genauen Werte sind im Anhang unter A.5.2 (ab S. 163) dargestellt.

Anschließend wurde nach der Beanspruchung an mehrstreifigen Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen (LSA) gefragt, und zwar in den Situationen „rechts abbiegen“, „geradeaus fahren“ und „links abbiegen“. Die Ergebnisse sind in Abb. 5.58 rechts zu sehen. Die Manöver „rechts abbiegen“ und „geradeaus fahren“ werden etwa gleich anspruchsvoll bewertet, nämlich mit 33 bzw. 31 Prozent als „gar nicht“, mit 44 Prozent als „wenig“ und mit 16 bzw. 18 Prozent als „mittel“ anspruchsvoll. Das Abbiegen nach links wurde anspruchsvoller empfunden: Nur 16 Prozent bewerteten es mit „gar nicht“, 37 Prozent als „wenig“ und 34 Prozent als „mittel“ anspruchsvoll. 10 Prozent sahen es als „stark“ anspruchsvoll an. Die Bewertungsverteilung der Altersgruppen ist auch hier entsprechend der Gesamtverteilung und ebenfalls mit einer leicht anspruchsvolleren Tendenz bei den 26- bis 50jährigen (Werte unter A.5.2 (S. 164) im Anhang).

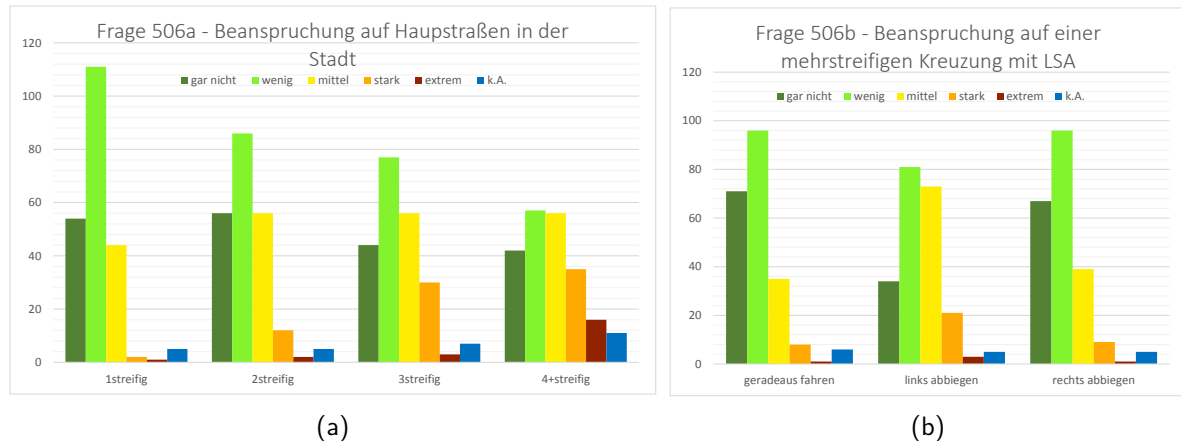


Abbildung 5.58.: (a) Beanspruchung auf Hauptstraßen in der Stadt. (b) Beanspruchung an mehrstreifigen Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen. Es wurden in beiden Fällen von 217 Personen gültige Antworten gegeben.

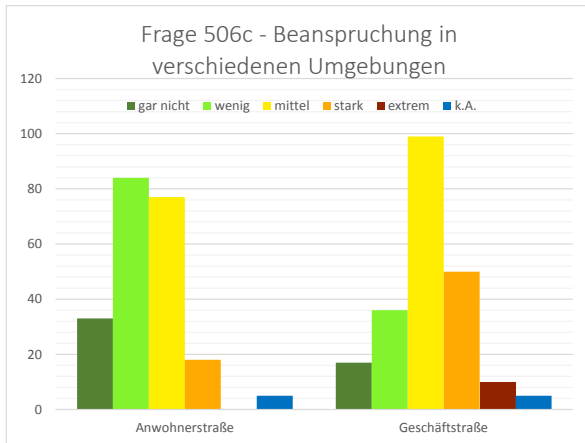
Das Durchfahren einer Anwohnerstraße wird von dem Großteil der Teilnehmer mit „wenig“ (39 Prozent) und „mittel“ anspruchsvoll (35 Prozent) bezeichnet. Im Unterschied dazu sehen 46 Prozent das Durchfahren einer Geschäftsstraße als „mittel“ anspruchsvoll und 23 Prozent als „stark“ anspruchsvoll an (siehe Abb. 5.59 links). Die Verteilung der Bewertungen in den Altersgruppen ist ähnlich der Gesamtverteilung, wobei die 26- bis 50jährigen eher zu einer leicht anspruchsvolleren Bewertung neigen und die Streuung bei der Altersgruppe 51 bis 70 Jahre bei den Geschäftsstraßen etwas größer ist (siehe A.5.2, S. 166 im Anhang).

Beim Durchfahren eines Kreisverkehrs unterscheiden sich die Bewertungen deutlich zwischen einer einstreifigen bzw. mehrstreifigen Verkehrsführung: Der einstreifige Kreis wird von 40 Prozent der Teilnehmer als „gar nicht“ und von 38 Prozent als „wenig“ anspruchsvoll empfunden, wogegen der mehrstreifige von 42 Prozent als „mittel“ und nur von 24 Prozent als „wenig“ anspruchsvoll bezeichnet wird (Abb. 5.59 rechts). Hier sind sich die Teilnehmer der verschiedenen Altersgruppen einig - die Bewertungsverteilung entspricht der Gesamtverteilung (A.5.2, S. 169 im Anhang).

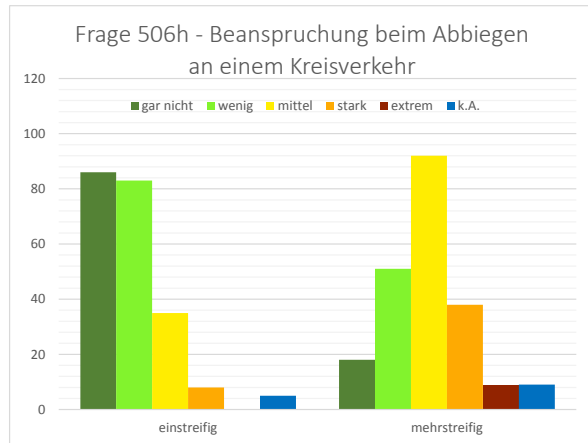
Die Eigenschaften von Landstraßen sollten in den folgenden Fragen bewertet werden. In Abb. 5.60 links sind die Bewertungen für gerade, kurvige und hügelige Landstraßen dargestellt. Bei geradem Verlauf überwiegen die Bewertungen „gar nicht“ (40 Prozent) und „wenig“ anspruchsvoll (44 Prozent). Bei Landstraßen mit Steigungen und Gefällen auf der Strecke sind es 38 Prozent, die „wenig“, und 26 Prozent, die eine „mittlere“ Beanspruchung sehen. Bei einem kurvigen Straßenverlauf sind es noch 33 Prozent beim Kriterium „wenig“ und 29 Prozent bei „mittel“. Der Anteil der Bewertung „stark“ steigt von vier über 11 auf 23 Prozent. Die verschiedenen Altersgruppen geben sehr ähnliche Bewertungen ab, wobei die 51- bis 70jährigen die hügelige und kurvige Landstraßen weniger anspruchsvoll finden als die übrigen Teilnehmer (siehe Anhang A.5.2, S. 166).

Die Bewertungen von schmalen und breiten Landstraßen sind in Abb. 5.60 rechts dargestellt. Schmale Fahrbahnen werden hier von 40 Prozent als „mittel“ anspruchsvoll, 25 Prozent als „wenig“ und von 22 Prozent als „stark“ anspruchsvoll gesehen. Bei breiten Landstraßen empfinden 47 Prozent die Beanspruchung als „wenig“ und 33 Prozent als „gar nicht“ vorhanden. Auch hier ähneln sich die Bewertungen der Altersgruppen stark (Werte unter A.5.2, S. 167).

Auch die Eigenschaften von Autobahnen wurden bewertet: Dabei empfanden 49 Prozent der Teilnehmer eine gerade verlaufende Autobahn als „gar nicht“, 37 Prozent als „wenig“ anspruchs-

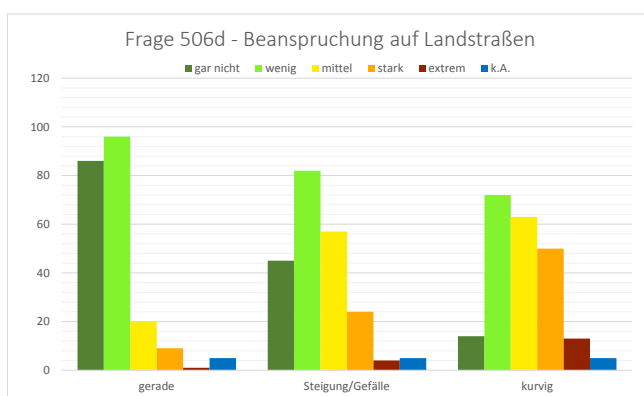


(a)

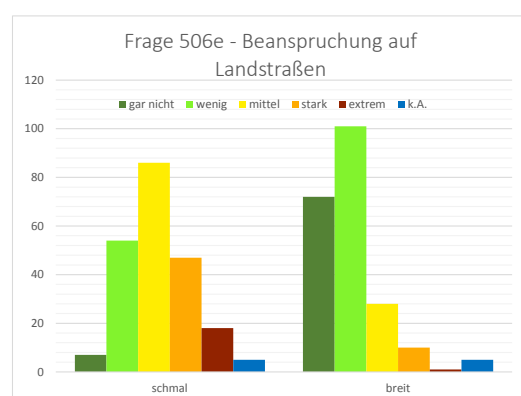


(b)

Abbildung 5.59.: (a) Beanspruchung beim Durchfahren einer Anwohnerstraße mit geparkten Autos auf beiden Seiten oder einer Geschäftsstraße mit beleuchteten Geschäften und regem Fußgängerverkehr. (b) Beanspruchung beim Abbiegen an ein- oder mehrstreifigen Kreisverkehren. Es wurden in beiden Fällen von 217 Personen gültige Antworten gegeben.



(a)



(b)

Abbildung 5.60.: (a) Beanspruchung je nach Straßenverlauf der Landstraße. (b) Beanspruchung je nach Breite der Fahrbahn. Es wurden in beiden Fällen von 217 Personen gültige Antworten gegeben.

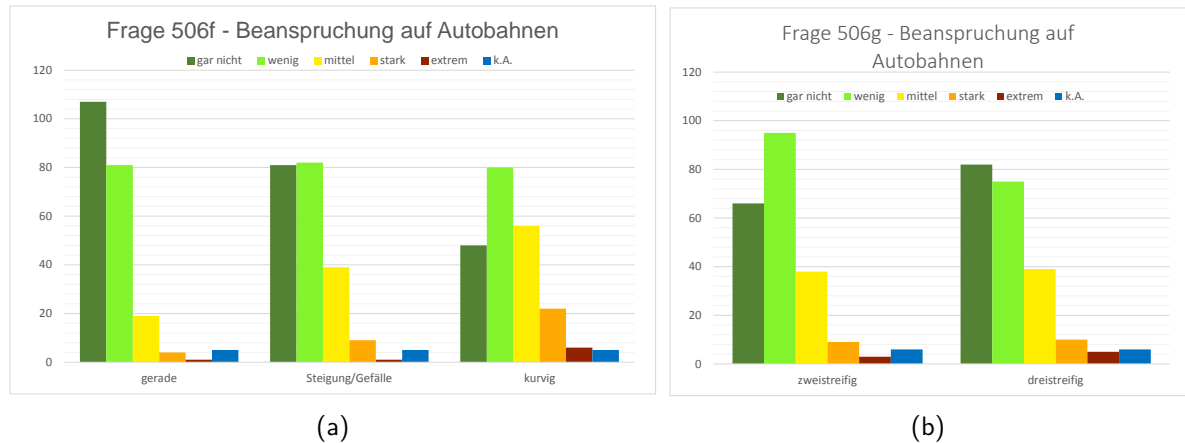


Abbildung 5.61.: (a) Beanspruchung je nach Straßenverlauf der Autobahn. (b) Beanspruchung je nach Fahrstreifenanzahl. Es wurden in beiden Fällen von 217 Personen gültige Antworten gegeben.

voll. Bei Steigung bzw. Gefälle wählten 38 Prozent die Bewertung „wenig“, 37 Prozent „gar nicht“ und 18 Prozent „mittel“. Kurvige Autobahnen wurden mit 37 Prozent als „wenig“ anspruchsvoll bewertet, mit 26 Prozent als „gar nicht“ und mit 26 Prozent als „mittel“ (Abb. 5.61 links). Die Bewertungen durch die verschiedenen Altersgruppen sind ähnlich, wobei die jüngeren eher zu einer weniger anspruchsvollen, die 26- bis 50jährigen zu eher anspruchsvollen Bewertungen tendieren (Daten unter A.5.2, S. 168).

Es wurde auch bewertet, wie anspruchsvoll zwei- bzw. dreistreifige Autobahnen empfunden wurden (Abb. 5.61 rechts). Hier liegt der Schwerpunkt in beiden Fällen bei „gar nicht“ und „wenig“ anspruchsvoll. Zweistreifige Autobahnen wurden zu 30 Prozent als „gar nicht“ und 44 Prozent als „wenig“ anspruchsvoll wahrgenommen, dreistreifige zu 38 Prozent als „gar nicht“ und 35 Prozent als „wenig“. Beide Varianten wurden zu 18 Prozent mit „mittel“ bewertet. Auch hier ist bei den verschiedenen Altersgruppen lediglich zu bemerken, dass die 26- bis 50 jährigen eher zu anspruchsvolleren Bewertungen neigen (Daten unter A.5.2, S. 168).

In Frage 507 sollte bewertet werden, wie stark sich die Aufmerksamkeit in verschiedenen Situationen erhöht, bei denen andere Verkehrsteilnehmer beteiligt bzw. zu erwarten waren. Zuerst wurde die Zufahrt im Dunkeln auf einen Fußgängerüberweg (FGÜ, ugs. Zebrastreifen) behandelt (Abb. 5.62 links). Bei unbeleuchteten Zebrastreifen gaben 44 Prozent an, dass sich ihre Aufmerksamkeit „merklich“ erhöht, 22 Prozent „wenig“ und 23 Prozent „stark“. War der Überweg beleuchtet, erhöhte sich die Aufmerksamkeit „merklich“ bei 47 Prozent, „wenig“ bei 31 Prozent und „stark“ bei 11 Prozent. Die Verteilungen in den Altersgruppen sind in etwa gleich (siehe A.5.2, ab S. 170 im Anhang).

Befindet sich ein Fußgänger am rechten Straßenrand, so steigt die Aufmerksamkeit „merklich“ (48 Prozent) bis „stark“ (22 Prozent). 16 Prozent geben eine „wenig“ erhöhte Aufmerksamkeit an. Ein Fußgänger am linken Straßenrand verursacht eine „wenig“ erhöhte Aufmerksamkeit bei 41 Prozent. 26 Prozent geben eine „merklich“ steigende Aufmerksamkeit an, bei 18 Prozent steigt sie „gar nicht“. Bei den 51- bis 70jährigen ist der Anstieg der Aufmerksamkeit beim Fußgänger auf der rechten Straßenseite tendenziell höher (Werte siehe A.5.2, ab S. 171 im Anhang).

Handelt es sich bei dem Fußgänger um ein Kind auf dem Bürgersteig, zeigen die Teilnehmer einen höheren Anstieg der Aufmerksamkeit (Abb. 5.63). Bei einem Kind auf der rechten Straßenseite steigt die Aufmerksamkeit bei 36 Prozent „stark“, bei 31 Prozent „merklich“ und bei

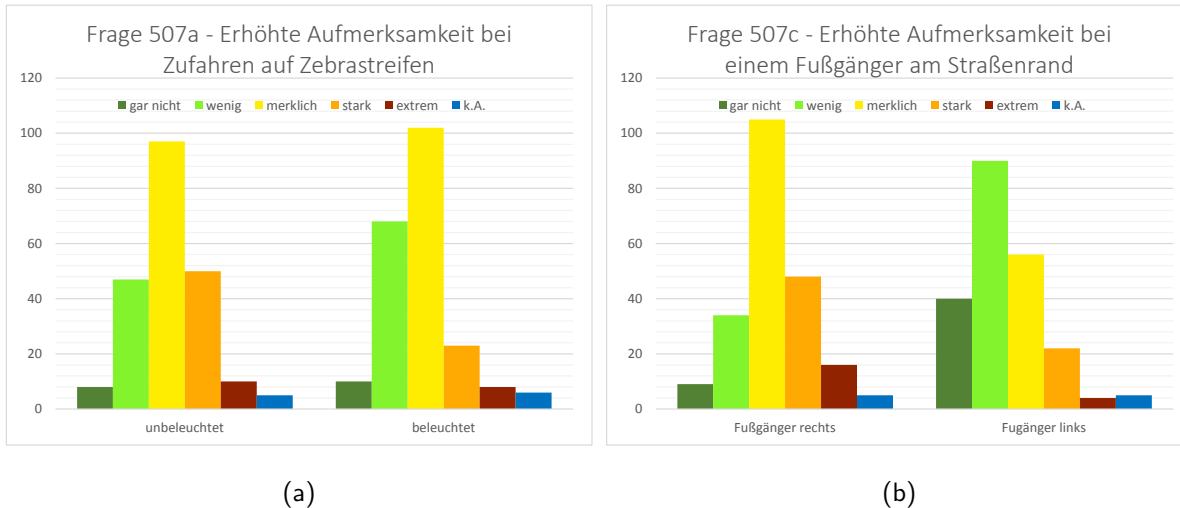


Abbildung 5.62.: Empfundene Erhöhung der Aufmerksamkeit (a) bei Zufahrt auf einen Fußgängerüberweg und (b) wenn ein Fußgänger am Straßenrand steht. Es wurden in beiden Fällen von 217 Personen gültige Antworten gegeben.

18 Prozent sogar „extrem“. Bei den 26- bis 50jährigen ist der Anstieg der Aufmerksamkeit leicht geringer. Befindet sich das Kind auf der linken Straßenseite, ist der Anstieg insgesamt geringer. Bei 24 Prozent ist er „wenig“, bei 33 Prozent „merklich“ und bei 18 Prozent „stark“. Hier ist die Verteilung in den Altersgruppen sehr ähnlich (siehe A.5.2, ab S. 171 im Anhang).

Bei einem Fahrradfahrer auf der rechten Seite der Fahrbahn erhöht sich bei 43 Prozent die Aufmerksamkeit „merklich“, bei 38 Prozent „stark“ (Abb. 5.64 links). Bei den 51- bis 70jährigen erhöht sich die Aufmerksamkeit tendenziell etwas mehr. Bei einem auf der linken Seite fahrenden Rad erhöht sich die Aufmerksamkeit eher „wenig“ (45 Prozent) oder „merklich“ (24 Prozent). Hier gibt es eine gute Übereinstimmung der Altersgruppen (alle Werte im Anhang unter A.5.2, S. 170).

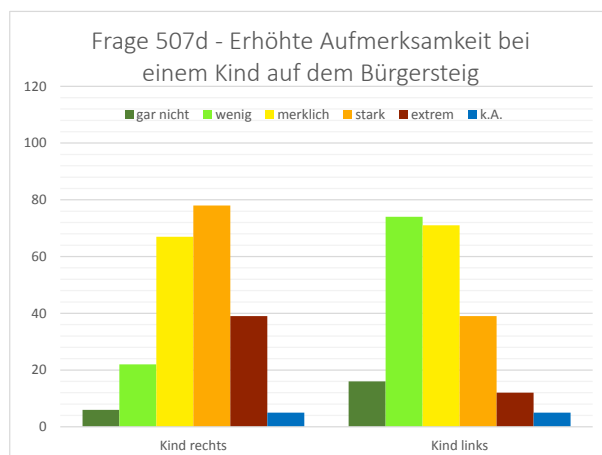


Abbildung 5.63.: Empfundene Erhöhung der Aufmerksamkeit, wenn ein Kind den Bürgersteig entlanggeht. Es wurden von 217 Personen gültige Antworten gegeben.

Kommt ein PKW aus einer Seitenstraße und wartet dort, erhöht sich die Aufmerksamkeit „merklich“ (39 Prozent) bis „stark“ (28 Prozent), wenn er von rechts kommt, bzw. „wenig“ (50 Prozent) bis „merklich“ (30 Prozent), kommt er von links (Abb. 5.64 rechts). Auch hier ist die Übereinstimmung bei den Altersgruppen gut (Abschnitt A.5.2, S. 172).

Anschließend wurden die Teilnehmer gebeten, weitere Einflüsse zu benennen, die sie beim Autofahren im Dunkeln als störend empfinden, die Stress auslösten oder die sie als gefährlich betrachteten. Hier war eine freie Texteingabe möglich und es konnten auch mehrere Einflüsse genannt werden. Die Aussagen der Teilnehmer sind im Detail ab S. 173 im Anhang aufgelistet.

Die störenden Einflüsse (Frage 508) wurden gruppiert und sind in Abb. 5.65 (S. 102) dargestellt, wobei die Flächen der Kreisdiagramme im Verhältnis der Anzahl der Nennungen zueinanderste-

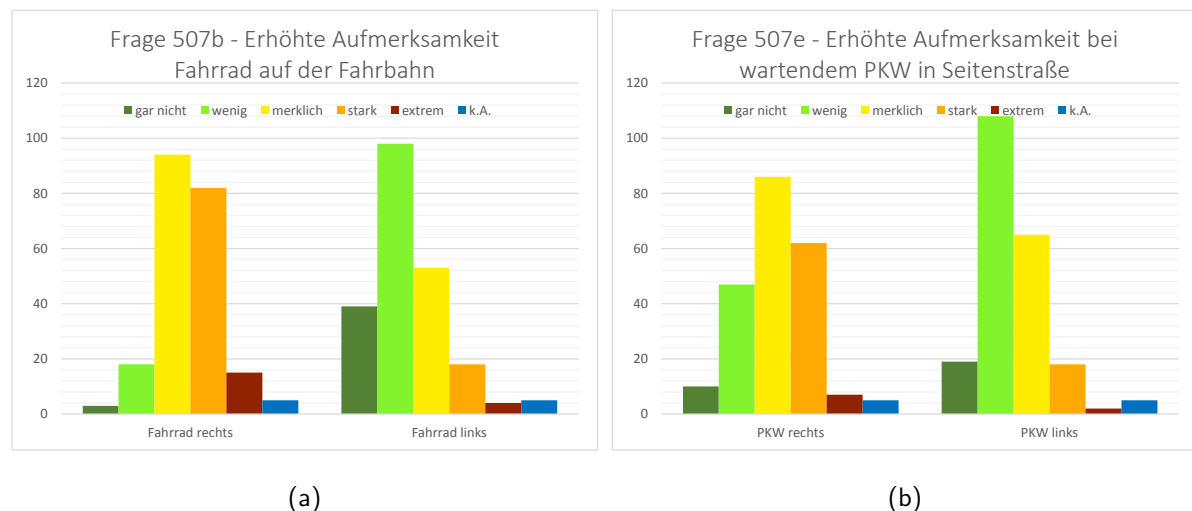


Abbildung 5.64.: Empfundene Erhöhung der Aufmerksamkeit, wenn (a) ein Fahrrad auf der Fahrbahn unterwegs ist und (b) ein PKW aus einer Seitenstraße kommt und dort wartet. Es wurden in beiden Fällen von 217 Personen gültige Antworten gegeben.

hen. Es wurden 126 Einflüsse genannt, wovon ein Großteil blendende Scheinwerfer betraf (57 Nennungen oder 45 Prozent) und 24 Nennungen (19 Prozent) Wettereinflüsse und die schlechte Sichtbarkeit von Verkehrszeichen bzw. Markierungen.

Die genannten Stressoren im nächtlichen Straßenverkehr (Frage 509) sind in Abb. 5.66 (S. 103) gezeigt. Hier wird mit 49 von 141 Angaben am häufigsten das Wetter genannt (35 Prozent). 26 Nennungen (18 Prozent) betrafen andere Verkehrsteilnehmer, was in einem zusätzlichen Kreisdiagramm rechts unten aufgeschlüsselt ist. 16 Mal (11 Prozent) wurden blendende Scheinwerfer angegeben und 14 Mal Wild (ca. 10 Prozent).

Bei der Frage nach gefährlichen Einflüssen (Frage 510) wurden von 93 Personen 104 Gefahrenquellen genannt, welche in Abb. 5.67 (S. 104) dargestellt sind. Am häufigsten wurden mit 30 Angaben (29 Prozent) andere Verkehrsteilnehmer genannt, gefolgt von Wetter und Sichtbarkeit von Verkehrszeichen und Markierungen mit 29 Angaben (28 Prozent) und Wild mit 16 Nennungen (15 Prozent).

Abschließend wurden die Teilnehmer in Frage 511 gefragt, ob sie selbst schon einmal einen Unfall beim Fahren in der Dunkelheit hatten. Auf diese Frage antworteten 12,6 Prozent mit „ja“ (26 von 217 Antworten). Drei Teilnehmer wählten „keine Antwort“ und 188 antworteten mit „nein“. Die Verteilung in den Altersgruppen ist in Abb. 5.68 links zu sehen (S. 105). Die Ursache dieser Unfälle konnte nun als Freitext angegeben werden (Frage 512), was 25 der Teilnehmer auch taten. Die Hauptursachen sind Wild (9 von 25 Antworten) und Wettereinflüsse (7 von 25 Antworten), wie in Abb. 5.68 rechts dargestellt. Die zugrundeliegenden Daten zu Fragen 511 und 512 sind in Abschnitt A.5.2 ab S. 181 zu finden.

5.5.6 Fazit

Der Großteil der 268 Teilnehmer schätzte seine jährliche Fahrleistung unter 30.000 km, wobei die jüngste Altersgruppe (18 bis 25 Jahre) eine eher geringe Fahrleistung angab als die beiden anderen Altersgruppen. Während der Dämmerungs- bzw. Dunkelheitsphasen im Winter morgens und abends wurde morgens selten (44 Prozent) bis oft (42 Prozent) und abends eher oft (66 Prozent) gefahren. Besonders die jüngere Altersgruppe fuhr morgens selten bis nie. 77 Prozent

Frage 508: Gibt es weitere Dinge, die Sie beim Autofahren im Dunkeln stören?

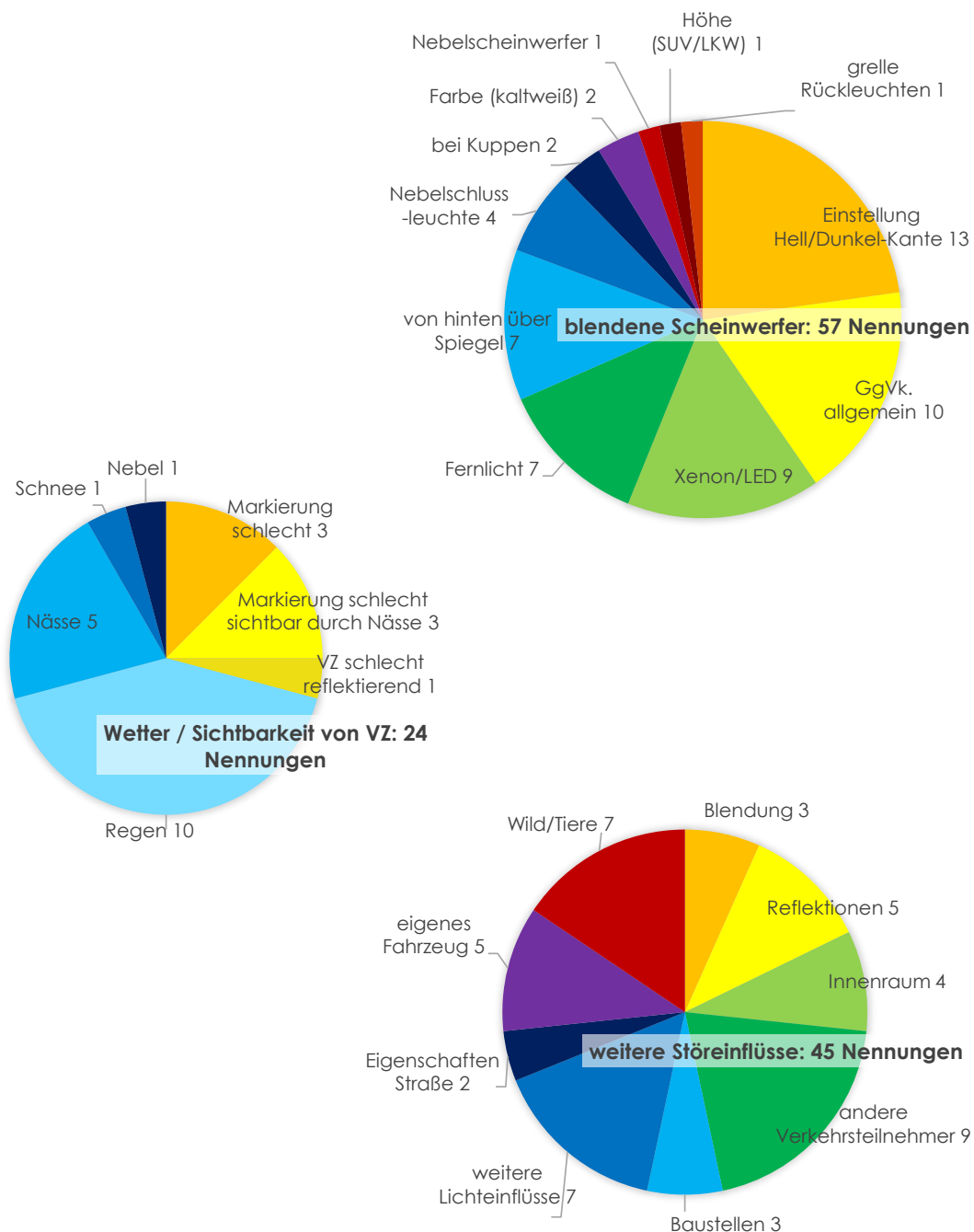


Abbildung 5.65.: Weitere Dinge, die die Teilnehmer beim Autofahren im Dunkeln stören. Es wurden von 113 Personen Antworten in Form eines freien Textes gegeben. Dabei wurden 126 Einflüsse genannt.

Frage 509: Gibt es weitere Situationen bei Nachtfahrten, die starken Stress bei Ihnen auslösen?

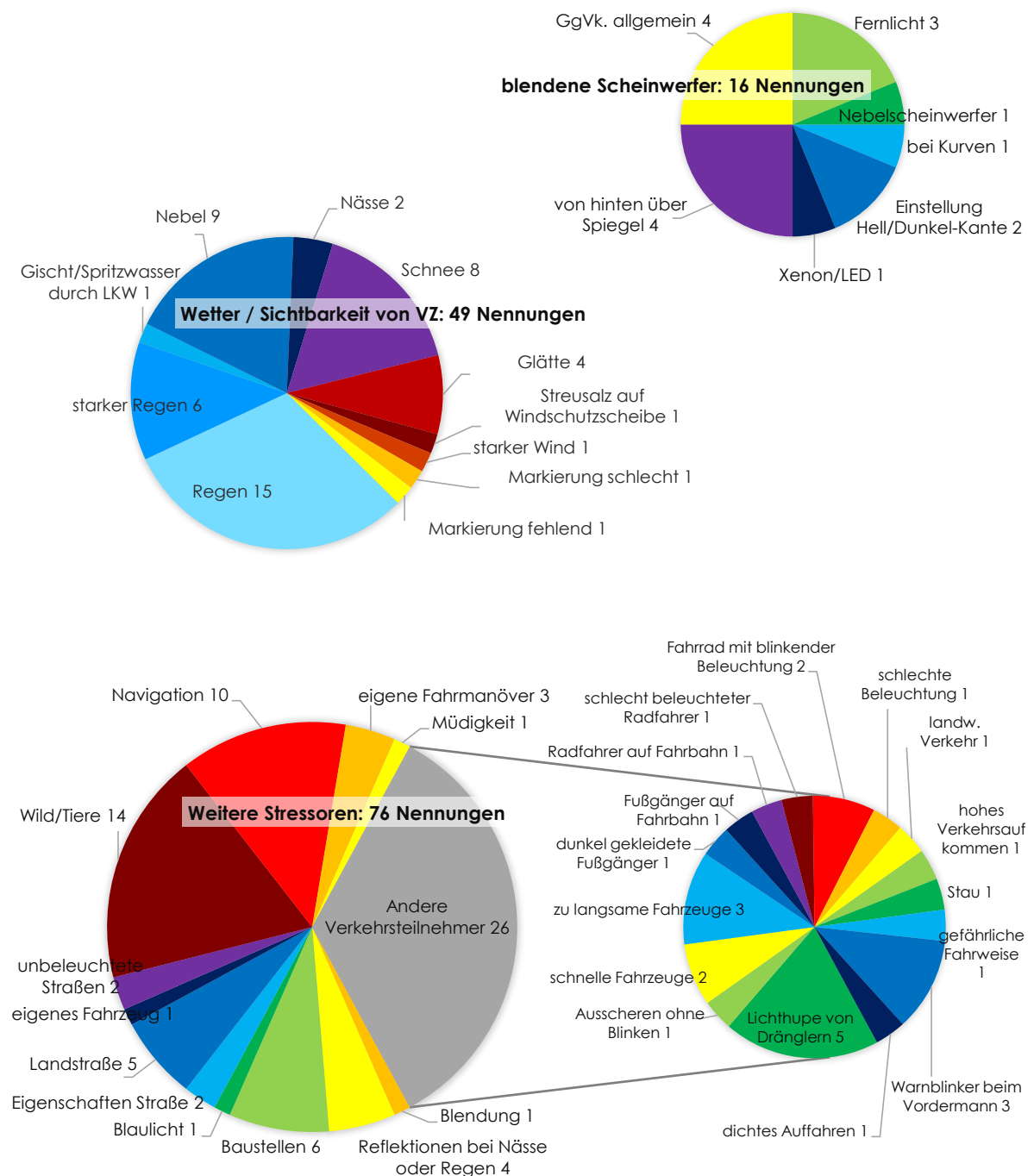


Abbildung 5.66.: Situationen bei Nachtfahrten, die Stress auslösen. Es wurden von 111 Personen Antworten in Form eines freien Textes gegeben. Dabei wurden 141 Einflüsse genannt.

Frage 510: Gibt es weitere Dinge oder Geschehnisse, die Gefahrensituationen verursachen?

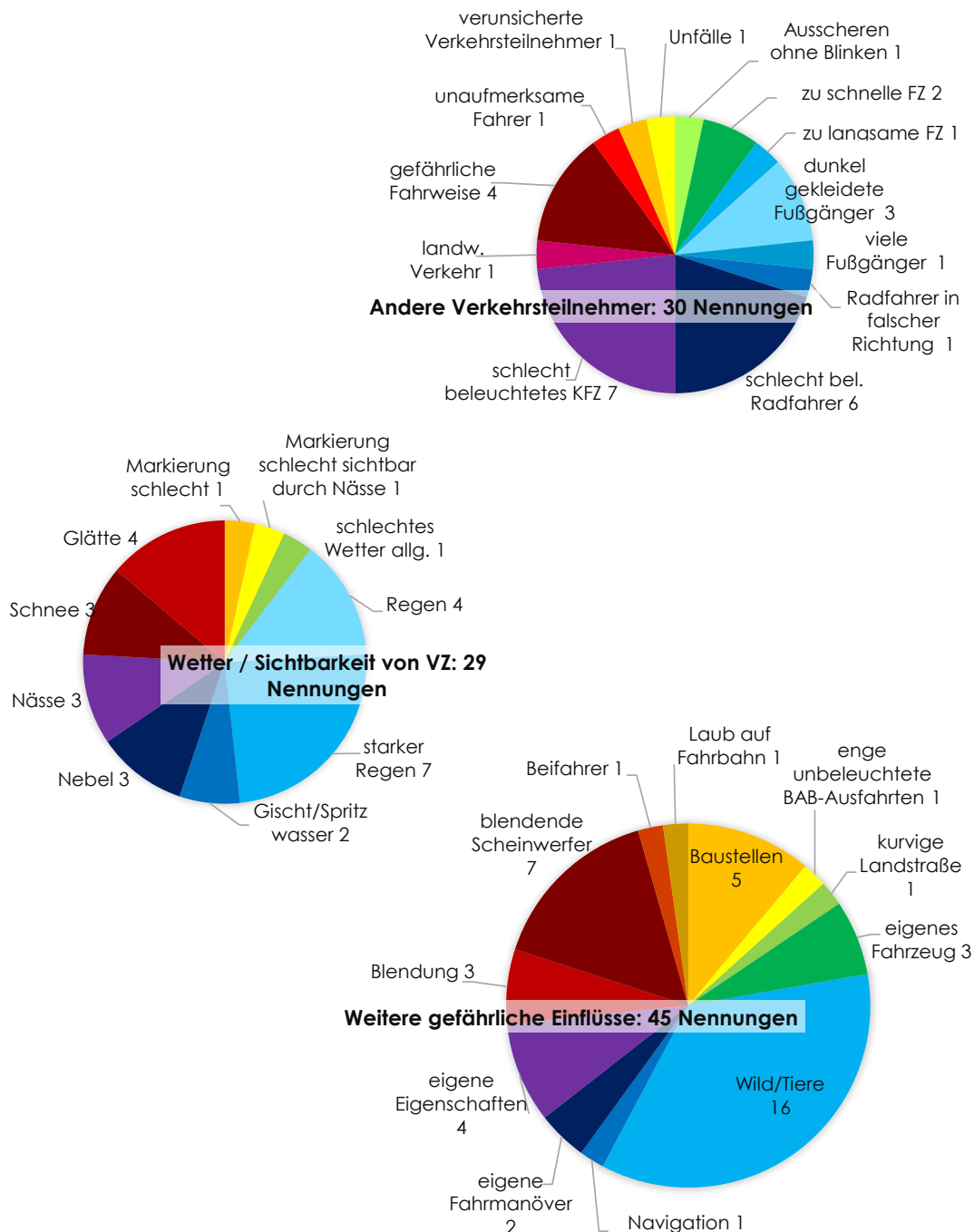


Abbildung 5.67.: Dinge oder Geschehnisse, die die Teilnehmer als Ursachen von Gefahrensituationen sehen. Es wurden von 93 Personen Antworten in Form eines freien Textes gegeben. Dabei wurden 104 Einflüsse genannt.

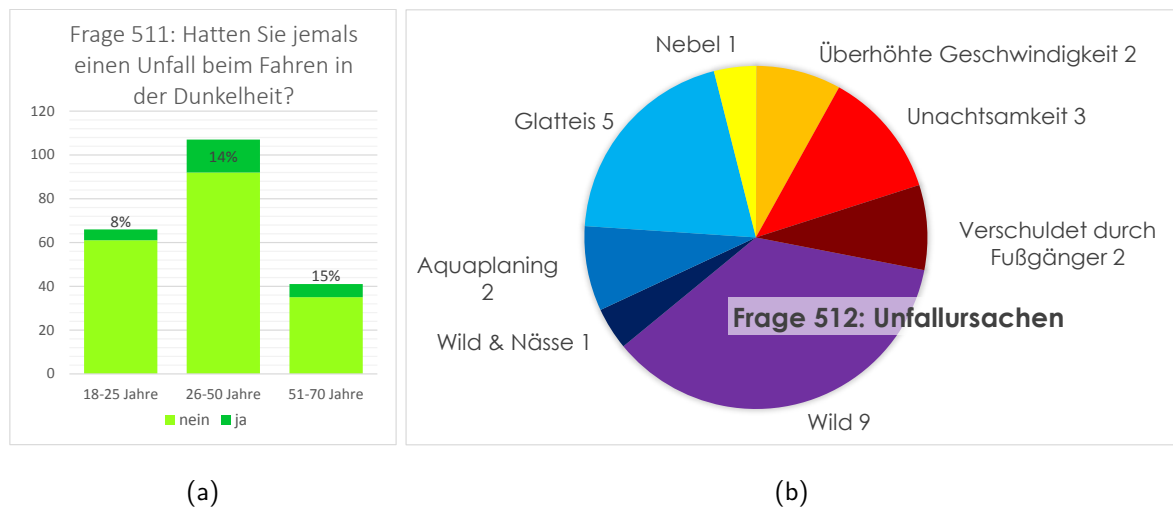


Abbildung 5.68.: (a) Gab es ein Unfallerlebnis beim Fahren in der Dunkelheit? Es wurden von 217 Personen gültige Antworten gegeben. (b) Aus welchem Grund? Von 25 Teilnehmern wurde diese Frage beantwortet.

der Teilnehmer empfanden das Fahren bei Dunkelheit als anstrengender als am Tag, was bei den 18- bis 25jährigen jedoch nur 61 Prozent so sahen. Allgemein wurde das Fahren bei Dunkelheit in der Stadt als am wenigsten anstrengend beurteilt, am anstrengendsten auf der Landstraße.

Straßenbeleuchtung wird in allen Umgebungen – innerorts, auf der Landstraße und auf der Autobahn – als hilfreich bewertet, was in der Stadt am deutlichsten ist, und was vor allem mit der besseren Erkennbarkeit von Straßenverlauf und Umgebung sowie von Fußgängern und Radfahrern begründet wird. Die höhere Helligkeit in der Stadt wird von 66 Prozent der Teilnehmer als hilfreich bewertet; in der Altersgruppe zwischen 26 und 50 Jahren sind es sogar 77 Prozent.

Die größte Störung in städtischer Umgebung wird durch Videowände verursacht, während beleuchtete Tankstellen als gar nicht störend wahrgenommen werden. Die Ablenkung durch die Gesamtheit der hier abgefragten Lichtquellen – beleuchtete Gebäude, Leuchtreklamewände, beleuchtete Tankstellen, Strahler auf Gebäuden und Videowände – wird insgesamt als wenig bis merklich bezeichnet. Auch bei der Ablenkung liegen im Vergleich Videowände in der Bewertung vorn. Sie lenken also am meisten ab. Auf Landstraßen und Autobahnen wurden die Ablenkung durch beleuchtete Tankstellen und Industrieanlagen abgefragt. Beide lenken eher wenig ab.

Die Farbe der Lichtquellen spielt eine Rolle bei Störung und Ablenkung beim nächtlichen Fahren: Auf Rang 1, also als am meisten störend, sehen die Teilnehmer zu 31 Prozent weiße Lichtquellen, zu 26 Prozent rote und zu etwa 19 Prozent blaue Lichtquellen. Hierbei variiert die Bewertung in den Altersgruppen etwas: Bei den jüngsten Teilnehmern wird die Farbe weiß am häufigsten, gefolgt von rot und gelb, auf Rang 1 genannt, in der Altersgruppe zwischen 26 und 50 Jahren ist diese Reihenfolge weiß – rot – blau und bei den älteren sind die beiden meist genannten Farben rot und gelb, die weiteren Farben werden ähnlich oft genannt. Bei der Frage, welche Farben von Lichtquellen am ehesten von der Fahraufgabe ablenken, werden ebenfalls rot, weiß und blau (34, 23 bzw. 21 Prozent) am häufigsten auf Rang 1 gesetzt. Bei den älteren sind dies abweichend die Farben rot, gelb und orange. Dabei stören Lichtquellen, die groß und hell oder klein und hell sind, mit 59 bzw. 24 Prozent am stärksten. Das Kriterium hell scheint hier ausschlaggebend zu sein, da Lichtquellen mit dem Kriterium „weniger hell“ eher selten als störend aufgefasst werden.

Auch Lichtquellen, die dynamische Eigenschaften haben, wurden bewertet. Dabei wurden bewegte Lichtquellen als am ehesten ablenkend eingestuft. Aber auch die übrigen – Farbwechsel, Film oder Lauftext sowie blinkende Lichtquellen – werden als insgesamt merklich bis stark ablenkend angesehen.

Im Innenraum wünscht sich die Mehrheit der Teilnehmer eine eher dunkle Beleuchtung (47 Prozent) bzw. eine dunkle Beleuchtung mit hellen Bereichen (29 Prozent).

Die empfundene Beanspruchung in den drei Umgebungen Stadt, Landstraße und Autobahn steigt mit steigendem Verkehrsaufkommen, sinkt aber wieder leicht, wenn Stau herrscht. Dabei sind die Veränderungen bei den Bewertungen der Landstraße ausgeprägter als in den beiden anderen Umgebungen. Die Scheinwerfer des Gegenverkehrs stören am ehesten auf Landstraßen, auf Autobahnen weniger und in der Stadt geht die Tendenz zur Bewertung „gar nicht“. In der Stadt nimmt die Beanspruchung mit steigender Anzahl Fahrstreifen zu, beim Abbiegen an einer mehrstreifigen Ampelkreuzung ist sie beim Linksabbiegen etwas höher als beim Rechtsabbiegen oder Geradeausfahren. Das Durchfahren einer Anwohnerstraße mit beidseitig parkenden Fahrzeugen wird als weniger anspruchsvoll bewertet als das Durchfahren einer Geschäftsstraße mit beleuchteten Geschäften und regem Fußgängerverkehr, was in etwa ähnlich bewertet wird wie das Durchfahren eines mehrstreifigen Kreisverkehrs. Anschließend wurde die Beanspruchung auf Landstraßen und Autobahnen je nach Straßenverlauf bzw. Fahrbahnbreite abgefragt. Ein gerader Fahrbahnverlauf wird in beiden Umgebungen als wenig anspruchsvoll angesehen, bei Steigung und Gefälle zeigt sich eine Tendenz zu etwas höherer Beanspruchung und bei kurvigem Verlauf steigt der Anspruch deutlich, was auf Landstraßen ausgeprägter ist als auf Autobahnen. Der Anspruch ist im Vergleich noch stärker auf schmalen Landstraßen. Breite Landstraßen sowie zweistreifige Autobahnen werden als wenig anspruchsvoll bewertet, dreistreifige Autobahnen tendenziell als gar nicht anspruchsvoll.

Die folgende Frage ermittelte, in welchem Maße sich die Aufmerksamkeit der Autofahrenden in bestimmten Situationen erhöht, in denen andere Verkehrsteilnehmer beteiligt waren. Am stärksten erhöht sich die Aufmerksamkeit, wenn sich ein Kind, allgemein ein Fußgänger oder ein Fahrradfahrer auf der rechten Straßenseite befinden. Befinden sich die Verkehrsteilnehmer auf der linken Straßenseite, ist die Erhöhung der Aufmerksamkeit eher gering.

Als weitere Störeinflüsse beim Autofahren in der Dunkelheit werden vor allem blendende Scheinwerfer und Wettereinflüsse genannt. Als Auslöser von Stresssituationen werden hauptsächlich ungünstiges Wetter, blendende Scheinwerfer, andere Verkehrsteilnehmer, aber auch Wild auf der Fahrbahn genannt. Auf die Frage nach Auslösern von Gefahrensituationen wurden am häufigsten andere Verkehrsteilnehmer, das Wetter und Wild genannt. Abschließend wurden die Teilnehmer gebeten anzugeben, ob sie in der Vergangenheit einen Unfall bei Dunkelheit hatten und welcher Ursache dieser hatte. Von den 26 Personen, die bejahten, gaben die meisten Wild und Wetter als Ursachen an.

5.6 Komplexitätsmodell für den nächtlichen Straßenverkehr

Ordnet man die Ergebnisse der durchgeführten Versuchsreihen in das Modell von Rasmussen und Donges ein (Abb. 2.4, S. 12), so wurden Einflüsse der Umwelt in der Ebene *Fahrraum* untersucht. Es wurde hauptsächlich die hervorgerufene Empfindung beim Fahrer analysiert. Auf Landstraßen wurde hinsichtlich des Fahrerverhaltens auch die Anpassung der Geschwindigkeit bei Auftreten von Blendung durch Gegenverkehr festgestellt, gleichzeitig mit Angabe einer erhöhten Beanspruchung. Im Fahrsimulator kamen Rundenzeit und Fahrfehler hinzu.

Basierend auf dem in Abschnitt 2.4 vorgestellten Komplexitätskubus nach Schuh u. a. [99] wird ein qualitatives, dreidimensionales Modell für die Komplexitätswahrnehmung vorgeschlagen.

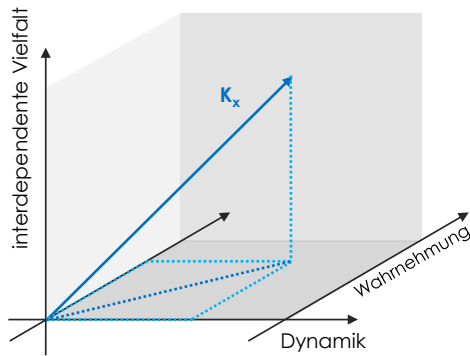


Abbildung 5.69.: Dreidimensionaler Raum zur Beschreibung von K_x .

Die erste Dimension V_i , angelehnt an die *interdependente Vielfalt*, bezeichnet hier die Anzahl verschiedener Reizarten sowie deren Wechselwirkungen. Die zweite Dimension D , die *Dynamik*, stellt die Ausprägungen der einzelnen Reize dar. Als Drittes wird, übereinstimmend mit Schuh, die *Wahrnehmung* W , welche die Einflüsse bei der Bewertung der empfundenen Komplexität beschreibt, verwendet. In weiterer Analogie zu dem Kubus stellen die drei Dimensionen mathematisch ein Orthonormalsystem dar (Abb. 5.69). Die resultierende wahrgenommene Komplexität \vec{K}_x ist dann ein Vektor im dreidimensionalen Raum:

$$\vec{K}_x = K_{x,V_i} \cdot \vec{V}_i + K_{x,D} \cdot \vec{D} + K_{x,W} \cdot \vec{W} \quad (5.1)$$

K_{x,V_i} , $K_{x,D}$ und $K_{x,W}$ sind abhängig von den Einflussgrößen im Straßenumfeld und den persönlichen Eigenschaften. Genaugenommen ist das Modell damit mehrdimensional; die Zwischenschaltung des dreidimensionalen Kubus ermöglicht allerdings erstens die Klassifizierung der Faktoren und zweitens die Strukturierung weiterer Untersuchungen.

Hinsichtlich der Ausprägung *Wahrnehmung* wurde in der vorliegenden Arbeit nur das Alter als Wahrnehmungseinfluss untersucht, und dies auch lediglich in der Online-Befragung. Aus der Literatur lässt sich schließen, dass Sehleistung und Reaktionszeit mit dem Alter nachlassen [76, 94], wobei die Werte relativ lange stabil bleiben und ab 50 Jahre stärker nachlassen. Auch die Risikobereitschaft nimmt mit dem Alter ab, was nach Stephan u. a. [110] zusätzlich die empfundene Beanspruchung erhöht. Die zunehmende Fahrerfahrung dürfte die Einschätzung von Verkehrssituationen erleichtern und damit die Beanspruchung ab einer Fahrerfahrung von ca. sieben Jahren senken ([4] zitiert nach [11]). Die Diversität und Wechselwirkung V_i von unterschiedlichen Stimuli wurde in den Feldtests hinsichtlich Verkehrsaufkommen und Anzahl der Lichtquellen explorativ behandelt. Zur genauen Abschätzung liegen aber zu wenige Messpunkte vor. Deshalb soll an dieser Stelle zunächst ein Ansatz zur Modellierung für die Ausprägung der Dimension *Dynamik* D erstellt werden.

Bei den Feldtests zeigten sich die in der folgenden Tabelle 5.10 aufgelisteten signifikanten Zusammenhänge bei der Komplexitätsbewertung.

Da die Umgebungen Autobahn, Landstraße und innerörtliches Umfeld sich in vielen Parametern voneinander unterscheiden, sollten die Koeffizienten für diese drei unterschieden werden.

Tabelle 5.10.: Signifikante Zusammenhänge mit K_x . Die Spalte *weitere AV* gibt an, welche AV bei der genannten Konstellation ebenfalls statistische Signifikanz zeigte. Der *Verlauf* gibt an, in welcher Weise die AV in den durchgeführten Tests auf die UV reagierte.

	Umfeld	UV	weitere AV	Verlauf
allg	BAB	Vk	–	K_x steigt linear
	Landstraße	GgV	v	K_x monoton steigend, nicht linear, v fallend
	innerorts	FStr	–	K_x monoton steigend, nicht linear
hoher Vk	BAB	FStr	–	K_x monoton steigend
kein Vk	Landstraße	GgVk	–	K_x steigt von keinem GgVk auf wenig GgVk und bleibt dann konstant
kein Vk	innerorts	GgVk	–	K_x steigt (nur 2 Messpunkte)
hoher Vk	innerorts	GgVk	–	K_x fällt monoton, nicht linear
mittlerer Vk	innerorts	LQ	–	K_x steigt leicht (nur 2 Messpunkte)
wenige LQ	BAB	Vk	–	K_x steigt leicht
keine LQ	Landstraße	GgVk	SCL	K_x monoton steigend, nicht linear, SCL schwankt

Auf Autobahnen steigt die Komplexitätsbewertung folglich mit dem Verkehrsaufkommen; bei hohem Verkehrsaufkommen steigt auch der Einfluss der Anzahl der Fahrstreifen.

Die Durchführung eines Fits mit dem Programm Gnuplot [120], welches die Parameterschätzung durch die Methode der kleinsten Quadrate per Levenberg–Marquardt-Algorithmus [39] durchführt, ergab für die lineare Funktion:

$$K_{x,D,BAB}(Vk) = 12 \cdot Vk + 8,6667 \quad (5.2)$$

Durch die grobe Abschätzung des Verkehrsaufkommens kann allerdings eine quadratische (oder in anderer Weise exponentielle) Abhängigkeit nicht ausgeschlossen werden. Abb. 5.70a zeigt die Messwerte für die Autobahn mit der Fitfunktion über alle Messwerte: $K_{x,D}(Vk) = 7,5 \cdot Vk + 18$. Hierbei wurde der Wert für das Verkehrsaufkommen „5-Stau/stockender Verkehr“ nicht in die Berechnung einbezogen, da die Funktion u.U. abschnittsweise definiert werden muss. Für den Einfluss der Fahrstreifen (bei hohem Verkehrsaufkommen) ergibt sich durch Fit:

$$K_{x,D,BAB}(FStr, VK = hoch) = 1,174 \cdot (FStr)^2 + 32,98 \quad (5.3)$$

Auf Landstraßen ist der Gegenverkehr der einzige Faktor, der statistisch signifikante Auswirkungen hervorruft. Weitere Parameter, die hier zusätzlich zu berücksichtigen sind, sind u.a. die Kurvigkeit und die Fahrbahnbreite. Außerdem sollte auch die Qualität der Markierung einbezogen werden. Zu diesen Faktoren liegen nicht genügend Messwerte vor. Für den Gegenverkehr wurde durch einen Fit die folgende Funktion abgeschätzt:

$$K_{x,D,Land}(GgV) = 2,21 \cdot (GgV - 1,42)^3 + 31,36 \quad (5.4)$$

Die dritte Potenz spiegelt die Tatsache wider, dass die Komplexitätsbewertung von „kein Gegenverkehr“ auf „wenig Gegenverkehr“ zunächst steigt, bei einem Anstieg des Gegenverkehrs auf „mittel“ dann aber konstant bleibt, um dann bei „viel Gegenverkehr“ wieder anzusteigen. Abb. 5.71 zeigt die Bewertungen mit der Fitfunktion.

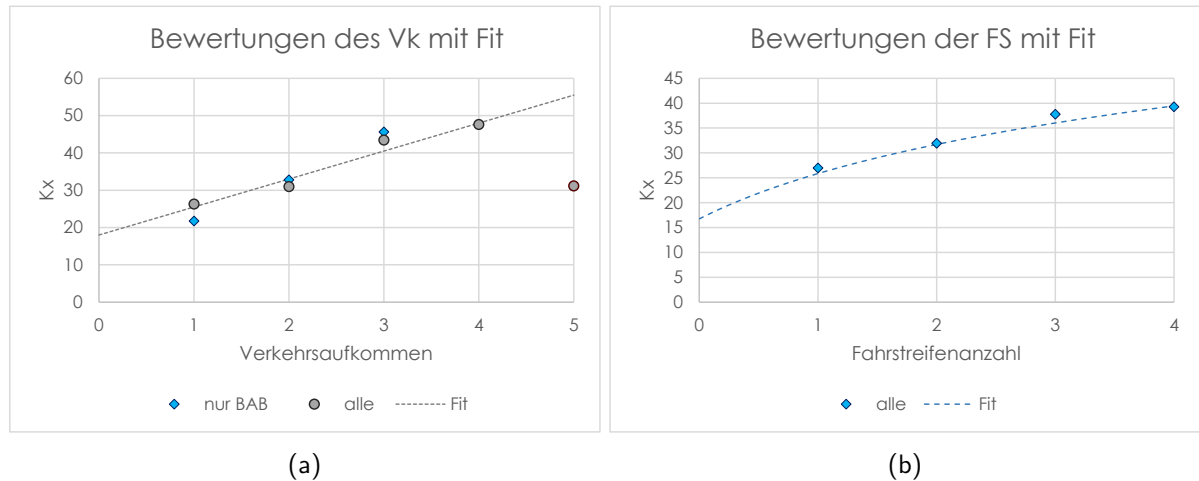


Abbildung 5.70.: (a) Die Näherungsfunktion für die Komplexitätsbewertung je nach Verkehrsaufkommen für alle Messwerte und die Messwerte auf Autobahnen. (b) Die Fit-Funktion für K_x nach Fahrstreifenanzahl innerorts.

In Abb. 5.72 werden die Werte, die für die Blendbedingung im Fahrsimulator erreicht wurden, mit der Fitfunktion für Blendung durch Gegenverkehr verglichen. Werte, die mit den vorliegenden Werten aus den Feldtests vergleichbar sind, liegen für den Fahrsimulator nur für die Bedingungen „kein Gegenverkehr“ und „wenig bis mittel Gegenverkehr“ vor. Zusätzlich wurde am Fahrsimulator eine andere Bewertungsskala verwendet. Geht man davon aus, dass es sich um relative Bewertungen handelt, passen die Werte zur Fitfunktion. Jedoch können aus lediglich zwei Messwerten keine aussagekräftigen Schlüsse gezogen werden. Die Methodik sollte hier weiter vertieft werden, d.h. es sollten weitere Tests am Fahrsimulator in dieser Richtung unternommen werden, um die Gültigkeit der gefundenen Näherung zu verifizieren.

Innerorts ist die Komplexitätsbewertung von der Anzahl der Fahrstreifen abhängig. Dabei sollte noch genauer untersucht werden, ob hier ein Knotenpunkt, u.U. mit Abbiegesituation vorliegt. Die weiteren Einflussgrößen zeigen nur schwache statistische Zusammenhänge, was auf Wechselwirkungen hindeutet. Die Situationen in der Innenstadt Frankfurts waren sehr vielfältig. In weiteren Studien sollte daher die Wirkung einzelner Parameter eingehender getestet werden. Der Einfluss der Anzahl der Fahrstreifen wird durch signifikante Zusammenhänge der Biosignale bei verschieden hohem Verkehrsaufkommen unterstützt. Auch der Gegenverkehr scheint – abhängig vom herrschenden Verkehrsaufkommen – einen Einfluss auszuüben. Die Funktion zur Auswirkung der Fahrstreifenanzahl auf die Komplexitätsbewertung in der Stadt wurde wie folgt abgeschätzt (Abb. 5.70b):

$$K_{x,D,inn}(FStr) = 16,63 \cdot \ln(FStr + 1,37) + 11,5 \quad (5.5)$$

Die Auswirkungen der Wechselwirkungen, welche in Tabelle 5.10 mit aufgelistet sind, werden hier nicht abgeschätzt, da zu wenig Daten dafür vorliegen.

Das Komplexitätsmodell von Reinisch [83] stützt sich vor allem auf die Eigenschaften der im Szenario vorhandenen Objekte. Im realen Straßenumfeld scheint der Fahrer bis zu einer bestimmten Schwelle die irrelevanten Objekte auszublenken und als Komplexitätsfaktoren Verkehr und Gegenverkehr – bzw. grundsätzlich andere Verkehrsteilnehmer – sowie die Eigenschaften der Straße wahrzunehmen. Im städtischen Umfeld jedoch, wo es eine große Menge an Informationen im Straßenraum gibt, sollten die Wechselwirkungen zwischen den hier behandelten

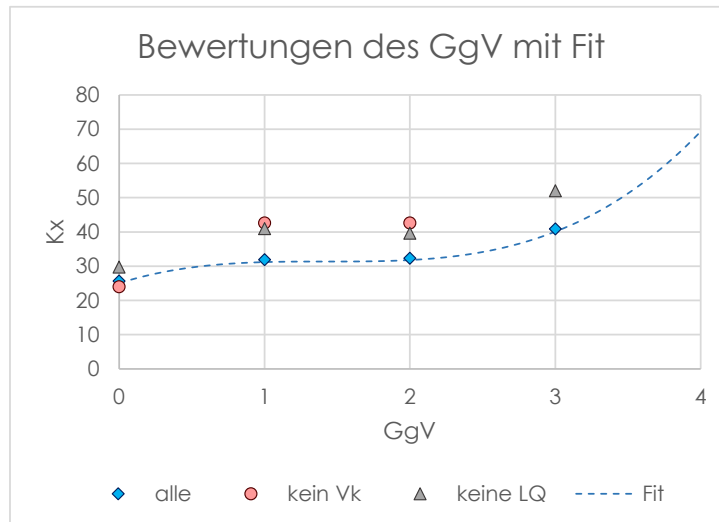


Abbildung 5.71.: Das Diagramm zeigt K_x auf Landstraßen je nach Gegenverkehr: die Gesamtbewertung, die Bewertung bei keinem Verkehrsaufkommen und die Bewertung, wenn keine Lichtquellen vorhanden sind. Gefittet wurde an die Gesamtbewertung. Die Werte der anderen beiden Bewertungen zeigen qualitativ den gleichen Verlauf, scheinen aber stärker ausgeprägt zu sein.

Aspekten mit den Objekteigenschaften, eingehender untersucht werden. Auch Ein- und Ausfahrbereiche von Arbeitsstellen, welche mit Baken markiert sind, könnten hier von weiterem Interesse sein.

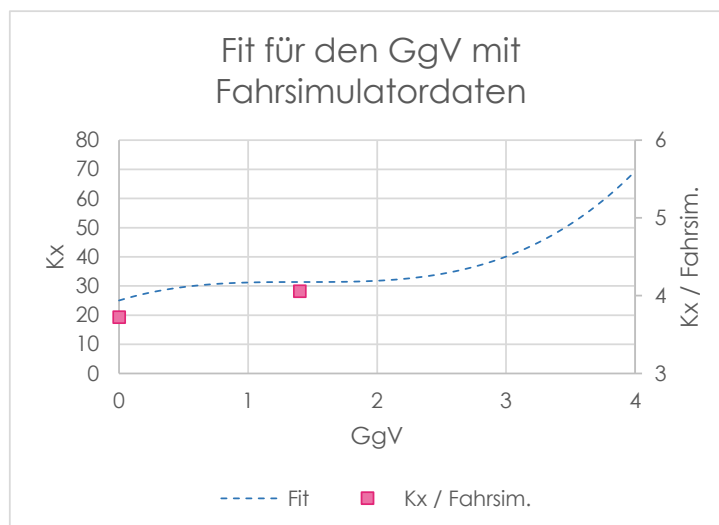


Abbildung 5.72.: Das Diagramm die Fitfunktion für die Komplexität auf Landstraßen je nach Gegenverkehr sowie die Messwerte aus dem Fahrsimulator.

6 Schlussfolgerungen und Résumé

6.1 Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Versuchsreihen zur Wahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr durchgeführt, wobei neben den Aussagen der Probanden auch physiologische Signale erfasst und ausgewertet wurden. Im Folgenden werden die Ergebnisse zusammengefasst.

Im Vorlauf der Untersuchungen wurden mit wenigen Probanden Nachtfahrten durchgeführt, um einerseits wichtige lichttechnische Parameter zu identifizieren, andererseits um ein Vokabular für die Durchführung der Versuchsreihen zu erhalten. Diese Voruntersuchung zeigte vor allem, dass unbekannte und unerwartete Situationen eine Belastung auf den Fahrer ausüben. Aber auch zu grelles Licht oder eine zu dunkle Umgebung werden negativ beurteilt. Die Aussagen der Teilnehmer wurden in einem Wortraum (Abb. 5.1, S. 49) visualisiert.

Anschließend wurden weitere Nachtfahrten mit neun Probanden durchgeführt, welche je etwa zwei Stunden dauerten und Streckenabschnitte auf Autobahnen, Landstraßen und in der Stadt enthielten. Bei dieser Versuchsreihe wurden die Signale von Hautleitwert, Herzfrequenz und Augenbewegungen aufgezeichnet; die gefahrene Geschwindigkeit wurde erfasst. Zusätzlich wurden die Probanden gebeten, eine Bewertung der Komplexität auf einer Skala von 0 bis 100 vorzunehmen, wenn sich der Anspruch bei der Fahrt änderte und auch – optional – eine Begründung zu ihrer Bewertung zu nennen.

Zunächst wurde die Geschwindigkeit als eine abhängige Variable identifiziert, was mit Bald [6] und Braess u. Donges [11] übereinstimmt, die die Geschwindigkeitsanpassung als kompensatorisches Verhalten identifizieren. Da die Parameter je nach Umgebung – Autobahn, Landstraße oder innerorts – stark variieren, wurde die Auswertung nach diesen drei Umgebungen getrennt ausgeführt. Die abhängigen Variablen AV , welche die Biosignale HF , EOG , SCL und SCR umfassen, sowie Komplexitätsbewertung K_x und Geschwindigkeit v , wurden neben der Umgebung auch nach den weiteren unabhängigen Variablen UV gruppiert und ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass je nach Umgebung andere Eigenschaften von Straße bzw. Umfeld die Wahrnehmung der Beanspruchung beeinflussen:

Auf **Autobahnen** allgemein wirkt sich vor allem der Parameter Verkehrsaufkommen signifikant auf die Komplexitätsbewertung K_x aus: Je höher das Verkehrsaufkommen, desto höher K_x . Bei mittlerem Verkehrsaufkommen zeigt die Anzahl der Fahrstreifen einen starken Zusammenhang zur SCR , welche bei zwei und drei Fahrstreifen etwa gleich bleibt und bei vier Fahrstreifen ansteigt. Bei hohem Verkehrsaufkommen steigt K_x mit der Anzahl der Fahrstreifen. Auf Autobahnen, je nach Menge der Lichtquellen, zeigen sich folgende signifikante Zusammenhänge: Sind wenige Lichtquellen vorhanden, steigt K_x leicht mit dem Verkehrsaufkommen, bleibt aber im Mittel unter 50. Ohne Lichtquellen hat das Gegenverkehrsaufkommen eine Auswirkung auf HF . Bei keinem bis mittlerem Gegenverkehr steigt HF nur leicht, bei viel Gegenverkehr dagegen merklich an. Sind keine oder eine mittlere Menge Lichtquellen vorhanden, zeigt die Anzahl der Fahrstreifen Auswirkungen auf SCR . Von drei auf vier Fahrstreifen steigt der Wert deutlich.

Für **Landstraßen** lässt sich das Ergebnis kürzer fassen: Hier wirkt sich vor allem der Gegenverkehr auf die Komplexitätsbewertung K_x aus. Zu bemerken ist auch, dass die momentane

Geschwindigkeit auf der Landstraße mit dem Aufkommen von Gegenverkehr sinkt, was nach Theeuwes u. a. [111] auf den Einfluss von Blendung zurückgeführt werden kann.

In der **Stadt** sind die Ergebnisse vielfältiger: Allgemein wirkt sich vor allem die Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung auf K_x aus, was bei keinem und niedrigem Verkehrsaufkommen auch für die SCR gilt. Bei hohem Verkehrsaufkommen steigt HF mit der Anzahl der Fahrstreifen. Innerorts zeigen sich neben wenigen starken viele schwache Zusammenhänge, was auf Wechselwirkungen von Parametern hindeutet. Dies könnte in einer weiterführenden Studie untersucht werden.

Der Anteil der Situationen mit auffälligen Biosignalen (mindestens zwei der vier Signale liegen deutlich über der für die Person ermittelten Baseline) steigt über die Umgebungen in dieser Reihenfolge: Autobahn, Landstraße, innerorts.

Die Wirkung psychologischer Blendung auf die physiologischen Stressindikatoren wurde in einer separaten Testreihe mit 17 Probanden untersucht. Bei der wiederholten Darbietung von neun verschiedenen hellen Blendreizen konnte nur eingeschränkt ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Leuchtdichte und der körperlichen Reaktion der Probanden festgestellt werden. Wenn man die Blendreize in einen Bereich niedriger ($1,2 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$ bis $1,8 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$) und einen Bereich hoher Leuchtdichte aufteilt ($8,3 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$ bis $1,9 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$), zeigt sich in der Anzahl der Peaks im SCL ein signifikanter Unterschied. Daraus wird geschlossen, dass die physiologische Stressreaktion, die durch Blendung allein ausgelöst wird, nicht stark genug ist, um messbare Ergebnisse zu liefern.

Im Fahrsimulator wurden in einer weiteren Versuchsreihe Lichteinflüsse isoliert miteinander verglichen. Hier nahmen 60 Personen teil; die Daten von 48 dieser Teilnehmer konnten ausgewertet werden. Zwölf Teilnehmer brachen den Versuch wegen Übelkeit ab. In dieser Studie wurden drei Lichteinflüsse separat auf ihre Auswirkungen auf den Autofahrer untersucht: Straßenbeleuchtung, erhöhte Innenraumhelligkeit und Blendung durch Gegenverkehr. Kurz gefasst führte dies zu folgenden Ergebnissen: Die Straßenbeleuchtung verringert die empfundene Komplexität, eine hellere Innenraumbeleuchtung erhöht sie leicht und die Blendung durch Gegenverkehr sehr stark.

Die Thesen, in welcher Art sich die Einflussfaktoren auf die Komplexitätswahrnehmung auswirken, wurden durch einen Fragebogen abgefragt. Die gewonnenen Ergebnisse werden durch die Mittelwerte der HR sowie der SCR gestützt. Auch die Fahrfehler und die für eine Runde benötigte Fahrzeit wurden ausgewertet und bestätigen diese. Der Mittelwert des SCL zeigt hingegen nur schwache statistische Zusammenhänge.

Weiterhin wurden nach einer Online-Befragung die Aussagen von 268 Teilnehmern zu Belastung und Beanspruchung in nächtlichen Straßenverkehr ausgewertet. Insgesamt bestätigt ein Großteil der Ergebnisse die Annahmen, wie beispielsweise eine steigende Anstrengung mit steigendem Verkehrsaufkommen oder eine große Ablenkung durch Videowände. Hervorzuheben sind allerdings folgende Teilergebnisse:

In der Altersgruppe zwischen 18 und 25 bewertet im Vergleich zur Gesamtbewertung von 77 Prozent ein deutlich geringerer Anteil von 61 Prozent das Fahren bei Dunkelheit als anstrengender als bei Tag. Die höhere Helligkeit in der Stadt wird allgemein als angenehm empfunden, wobei dies in der Altersgruppe zwischen 51 und 70 Jahren deutlicher ausgeprägt ist.

Als am ehesten störende und ablenkende Farben von Lichtquellen werden weiß, rot und blau genannt, wobei weiß am meisten stört und rot am meisten ablenkt. Bei den 51- bis 70jährigen

sind die am ehesten ablenkenden Farben rot, gelb und orange, als am meisten störende Farbe wird hier rot genannt, während alle anderen Farben etwa gleich häufig vertreten sind.

Dynamische Eigenschaften von Lichtquellen werden von Teilnehmern aller Altersgruppen gleichermaßen als überwiegend stark bis extrem ablenkend bewertet. Die Scheinwerfer des Gegenverkehrs werden auf Landstraßen hauptsächlich als stark ablenkend bewertet.

Bei Kindern, anderen Fußgängern, Radfahrern oder einbiegenden PKW erhöht sich die Aufmerksamkeit dann deutlich stärker, wenn sich diese Teilnehmer auf der rechten Straßenseite befinden bzw. von dort kommen. Sind sie auf der linken Seite, ist die Erhöhung der Aufmerksamkeit eher gering. Am stärksten erhöht sich die Aufmerksamkeit, wenn es sich um ein Kind handelt.

Bei der Nennung weiterer Einflüsse wurde die Schwere der Situation gesteigert: von Störung über Stress zu Gefahrensituationen. Im Verlauf dieser drei Fragen nimmt der Einfluss der blendenden Scheinwerfer ab, die Anzahl der Nennungen sinkt von 57 über 16 auf sieben. Die Nennungen von Wettereinflüssen und Sichtbarkeit von Markierungen steigt von 24 auf 49 Nennungen und sinkt dann wieder auf 29. Der Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer steigt von neun auf 26 Nennungen und bleibt dann mit 30 bei Gefahrensituationen bei einem ähnlichen Wert. Wild auf der Fahrbahn wird mit sieben, 14 bzw. 16 Stimmen eher selten genannt.

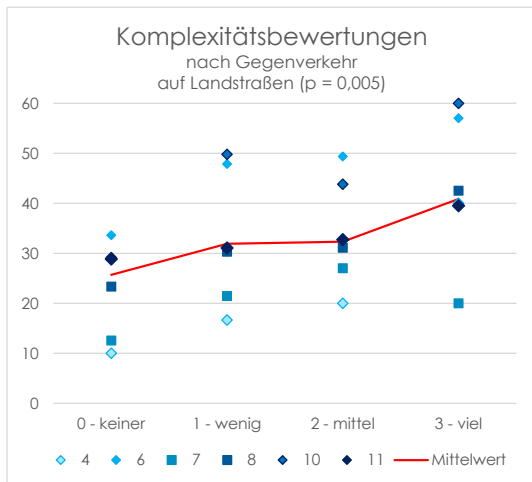
Als Unfallursachen bei Dunkelheit werden nach eigener Erfahrung der Teilnehmer hauptsächlich Wild und Wetter genannt (16 von 25 Nennungen), was sich mit der zu Beginn gezeigten Statistik deckt (Abb. 2.11, S. 20).

6.2 Diskussion und Ausblick

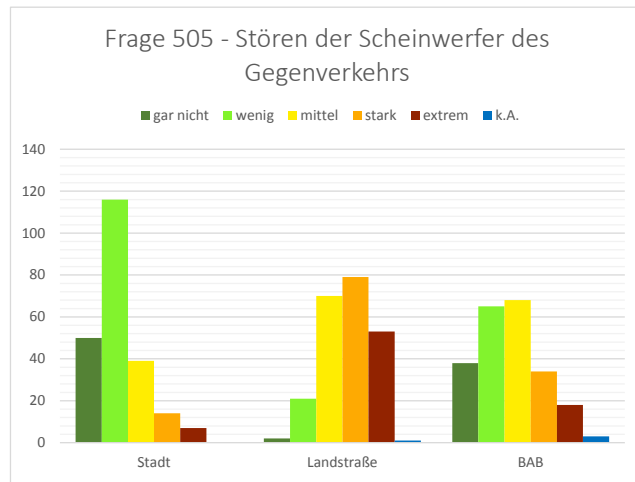
Die durchgeführten Testreihen im nächtlichen Straßenumfeld und am Fahrsimulator sowie die Online-Befragung konnten einige Einflussfaktoren identifizieren, die die empfundene Komplexität im nächtlichen Straßenverkehr erhöhen. Diese sind je nach Umfeld unterschiedlich: Wie die Feldtests zeigen, sind auf Autobahnen das Verkehrsaufkommen und die Anzahl der Fahrstreifen in Fahrtrichtung die Hauptfaktoren, wobei die Auswirkung der Fahrstreifenanzahl vom Verkehrsaufkommen abhängt. Diese Wechselwirkung könnte als Gegenstand künftiger Studien dienen.

6.2.1 Zusammenführende Betrachtung

In der zusammenfassenden Betrachtung der Ergebnisse wird Folgendes festgestellt: Von den Bedingungen der Fahrsimulatorstudie wird die **Blendung durch Gegenverkehr** als am komplexesten bewertet, was sich auch in den Ausprägungen der Hautleitwerte und den Mittelwerten der Herzfrequenz widerspiegelt. Die Blendbedingung simulierte in der Testreihe den Effekt des Gegenverkehrs. In den Feldtests wurde der Gegenverkehr besonders auf Landstraßen als komplexer Einfluss bewertet, wobei die Komplexität bei steigendem Gegenverkehrsaufkommen ebenfalls anstieg. Gleichzeitig wurde während des Feldtests bei entgegenkommenden Fahrzeugen auf Landstraßen die Geschwindigkeit reduziert – in der Simulation dagegen traten bei Blendung keine auffallend höheren Fahrtzeiten pro Runde auf. Die Antworten des Online-Fragebogens zeigen ebenfalls das starke Stören des Gegenverkehrs auf Landstraßen. Auch auf Autobahnen wird der Gegenverkehr als mittlere Störung aufgefasst, nicht jedoch in der Stadt. Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse der drei Studien bezüglich der Blendung durch Gegenverkehr hier noch einmal gegenübergestellt (Abb. 6.1 und 6.2).



(a)



(b)

Abbildung 6.1.: (a) Die Komplexitätsbewertung nach Blendung durch den Gegenverkehr auf Landstraßen bei den Feldtests und (b) die Bewertung bei der Online-Befragung.

Hinsichtlich des **Umfelds** wird in der Befragung das nächtliche Autofahren auf Landstraßen als am anstrengendsten bewertet. Dies widerspricht allerdings den Messungen während der Feldtests: Hier wurden innerorts die meisten Situationen mit auffälligen Biosignalen ermittelt, die Landstraße folgte auf dem zweiten Platz. Es ist denkbar, dass die Orientierungsreaktionen im städtischen Umfeld häufiger vorkommen, was ebenfalls Reaktionen der Biosignale hervorruft. Die Anspannung bzw. der empfundene Anspruch kann dennoch auf Landstraßen höher sein.

Die Bewertung bzw. Empfindung verschiedenen hohen **Verkehrsaufkommens** stimmte bei Feldtests und Fragebogen in etwa überein: Die Situation wird als komplexer bzw. anstrengender empfunden, je höher das Verkehrsaufkommen ist – außer im Falle eines Staus. Dann sinkt die Komplexitätsbewertung wieder ab. Dies gilt im Fragebogen für alle Umfeldtypen, wobei Stau auf Autobahnen noch immer als etwas anstrengend bewertet wird.

Die Anzahl der **Fahrstreifen in Fahrtrichtung** zeigt sowohl in den Feldtests als auch im Fragebogen Auswirkungen auf die Ergebnisse: Innerorts ist die Anzahl der Fahrstreifen ein wichtiger Faktor, wobei die Ergebnisse der Feldtests in diesem Fall auf vielfältige Wechselwirkungen von Einflussgrößen schließen lassen. In der Befragung zeigt sich besonders zwischen drei- und vierstreifigen Straßen innerorts ein deutlicher Anstieg. Zwischen zwei- und dreistreifigen Autobahnen zeigt sich in der Befragung nur ein leichter Anstieg, was dem Ergebnis des Feldtests entspricht. Im Vergleich zu dreistreifigen Autobahnen zeigt sich bei vier Fahrstreifen in den Feldtests ein deutlicher Anstieg in HF und SCR.

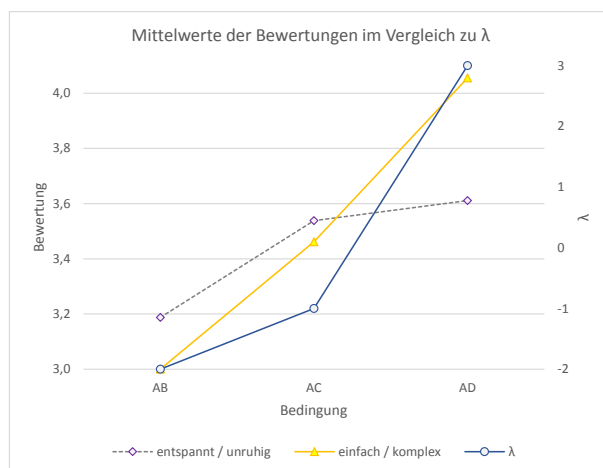


Abbildung 6.2.: Die Komplexitätsbewertung im Vergleich zu den Bedingungen B – Straßenbeleuchtung und C – erhöhte Innenraumbeleuchtung im Fahrsimulator.

Im Feldtests fiel auf, dass die Geschwindigkeit innerorts bei vielen Lichtquellen im Umfeld höher war als bei wenigen. Dies wird auf den Umstand zurückgeführt, dass Anwohnerstraßen, in denen relativ langsam gefahren wird, weniger Lichtquellen aufweisen als Haupt- und Geschäftsstraßen. Diese beiden Straßentypen werden auch in der Befragung bewertet, wobei Anwohnerstraßen als weniger beanspruchend als Geschäftsstraßen beurteilt werden.

Die Fragebogenergebnisse legen nahe, dass sich **Straßenbeleuchtung** positiv auf die empfundene Beanspruchung auswirkt – vor allem im städtischen Umfeld, aber auch auf Landstraßen. Dies zeigt sich ausgeprägt in den Ergebnissen der Fahrsimulatorstudie, wo sie sich ebenfalls abregend auf die Biosignale auswirkt.

Vergleicht man die Auswirkung der helleren **Innenraumbeleuchtung** im Fahrsimulator mit den Befragungsergebnissen, so zeigt sich, dass die Biosignale der Probanden im Simulator keinen deutlichen Anstieg zeigen, obwohl die Befragung anderes nahelegt. Hier wünscht sich der Großteil der Teilnehmer einen dunklen Innenraum, helle Teilbereiche werden akzeptiert.

Die Kurvigkeit von Landstraßen und Autobahnen wurde in den durchgeführten Versuchen nicht analysiert. Dies ist laut Hristov [47] und Heinrich u. a. [42] sowohl auf Autobahnen als auch auf Landstraßen eine Einflussgröße für die Unfallhäufigkeit. Die wahrgenommene Komplexität für diesen Faktor ist eingehender zu untersuchen.

6.2.2 Eignung der biophysikalischen Signale

Die biophysikalischen Signale zeigten erst ab einer bestimmten Beanspruchung eine Reaktion. Bei der alleinigen Stimulation der Probanden durch einen Blendreiz konnte ausschließlich im SCL-Signal eine sehr geringe Veränderung nachgewiesen werden (Abschnitt 5.3.3, S. 68). Bei einer Kombination mehrerer Stimuli wie Fahraufgabe und Lichtreiz im Fahrsimulator zeigten die Probanden eine deutliche physiologische Reaktion (Abschnitt 5.4.8, S. 82). In dieser Versuchsreihe zeigen der Mittelwert der Herzfrequenz und der SCR einen signifikanten Zusammenhang zur Komplexitätsbewertung. Der Mittelwert des SCL zeigt nur schwache Zusammenhänge – dies allerdings durchweg. Hier könnte eine weitere Untersuchung mit einer größeren Anzahl Teilnehmer Aufschluss bringen.

In den Feldtests zeigt die SCR am ehesten eine signifikante Veränderung. Für die Verwendung dieser Signale scheint die Kontrolle der Einflussfaktoren ein wichtiger Aspekt: Es muss bekannt sein, welche Einflüsse in welcher Ausprägung auf die Probanden wirken, um die Reaktionen richtig zuordnen zu können.

6.2.3 Weitere Erkenntnisse

Der Fahrsimulator erwies sich als gut geeignet, die Auswirkungen verschiedener Lichteinflüsse isoliert zu untersuchen. Der Anteil der Probanden, die unter *simulator sickness* litten, lag mit 20 Prozent im Rahmen der Erwartungen [15]. Abgesehen von den Einbußen bei den Testdaten ging es den Betroffenen einigermaßen schlecht, weshalb beim Auslegen künftiger Versuche ein Simulator mit bewegter Plattform bevorzugt werden sollte [112, 126].

Das erstellte qualitative Komplexitätsmodell deckt die Eingangsgrößen und auch die Ausprägungen der Komplexitätsbewertung nur teilweise ab, was zu erwarten war, da hier sehr vielfältige Einflüsse vorliegen. Es soll aber als Grundlage zur Strukturierung und Einordnung weiterer Untersuchungen dienen.

Literaturverzeichnis

- [1] ADAC E.V.: *ADAC – Wir machen Mobilität sicher*. https://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_6_3_Nachtunfaelle_42814.pdf, 2014. – Online; abgerufen 23.Juli 2016
- [2] ALLEN, T. M. ; LUNEFELD, H ; ALEXANDER, G. J.: Driver Information Needs. In: *Highway Research Record* (1970), Nr. No. 366, S. 102–115
- [3] AMBU GMBH (Hrsg.): *Ambu® BlueSensor SP – Einweg EKG-Elektrode*. Bad Nauheim: Ambu GmbH, 2013. – http://www.ambu.de/deu/produkte/patient_monitoring_and_diagnostics/product/ambu%C2%AE_bluesensor_sp-prod11874.aspx
- [4] ANONYM: Unfalldisposition und Fahrpraxis. In: *ATZ Automobiltechnische Zeitschrift* (1976), Nr. 78, S. 129
- [5] AV STUMPFL GMBH (Hrsg.): *FULLWHITE® Nur das Bild*. Wallern, Austria: AV Stumpfl GmbH, 2015. – http://avstumpfl.com/fileadmin/user_upload/downloads/de/Produkt_Information/Fullwhite_Broschuere.pdf und http://avstumpfl.com/fileadmin/user_upload/downloads/de/Technische_Spezifikation/Datenblaetter_Projektionsfolien.pdf
- [6] BALD, J. S.: *Grundlagen für die Anwendung von Risikoanalysen im Straßenwesen*. Darmstadt, Technische Hochschule, Diss., 1991
- [7] BECHER, Thorsten ; BAIER, Michael M. ; STEINAUER, Bernhard ; SCHEUCHENPFLUG, Rainer ; KRÜGER, Hans-Peter: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie / Bibliothek der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch-Gladbach, 2006. – Forschungsbericht. – ISBN 978–3–86509–577–0
- [8] BÖHM, Michael: *Adaptive Frontbeleuchtungssysteme im Kraftfahrzeug: Ein Beitrag zur nächtlichen Verkehrssicherheit?*, Technische Universität Chemnitz, Diss., 2012
- [9] BOLLER, Alisa: *The Influence of Light Conditions and an Additional Task on Strain - a Driving Simulator Study*, Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Arbeits- und Ingenieurpsychologie, Diplomarbeit, 2013
- [10] BOUCSEIN, Wolfram ; FOWLES, Don C. ; GRIMNES, Sverre ; BEN-SHAKHAR, Gershon ; ROTH, Walton T. ; DAWSON, Michael E. ; FILION, Diane L. ; FOR THE SOCIETY FOR PSYCHOPHYSIOLOGICAL RESEARCH AD HOC COMMITTEE ON ELECTRODERMAL MEASURES: Publication recommendations for electrodermal measurements. In: *Psychophysiology* 49 (2012), Nr. 8, S. 1017–1034. – ISSN 1469–8986
- [11] BRAESS, H.-H. ; DONGES, E.: Technologien zur aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen – „konsumierbare“ oder echte Verbesserungen?, Tagungsbeitrag zur 2. Tagung „Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz“, TU München, 2006
- [12] BRAITHWAITE, Jason J D. ; WATSON, Derrick G D. ; JONES, Robert ; ROWE, Mickey ; SELECTIVE ATTENTION & AWARENESS LABORATORY (SAAL) BEHAVIOURAL BRAIN SCIENCES CENTRE (Hrsg.): *A Guide for Analysing Electrodermal Activity (EDA) & Skin Conductance Responses (SCRs) for Psychological Experiments: via the Biopac MP36R & AcqKnowledge software*. UK, 2013
- [13] BROADBENT, D.E.: *Perception and communication*. Oxford : Pergamon Press, 1958

-
- [14] BROOKS, C.M.C. ; KOIZUMI, K. ; PINKSTON, J.O. ; (N.Y.), Downstate Medical C.: *The Life and Contributions of Walter Bradford Cannon, 1871-1945: His Influence on the Development of Physiology in the Twentieth Century: Papers Delivered at a Centennial Symposium – Held at State University of New York Downstate Medical Center, 25-26 May 1972*. State University of New York, Downstate Medical Center, 1975. – ISBN 978-0-87-395261-3
- [15] BROOKS, Johnell O. ; GOODENOUGH, Richard R. ; CRISLER, Matthew C. ; KLEIN, Nathan D. ; ALLEY, Rebecca L. ; KOON, Beatrice L. ; LOGAN JR., William C. ; OGLE, Jennifer H. ; TYRRELL, Richard A. ; WILLS, Rebekkah F.: Simulator sickness during driving simulation studies. In: *Accident Analysis & Prevention* 42 (2010), Nr. 3, S. 788 – 796. – ISSN 0001-4575. – Assessing Safety with Driving Simulators
- [16] BULLOUGH, John D.: Modeling peripheral visibility under headlamp illumination, Conference contribution to the 16th Biennial Symposium on Visibility and Simulation, Iowa City, IA, June 2-4, Transportation Research Board, The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington, DC, USA, 2002
- [17] BULLOUGH, John D. ; DONNELL, Eric T. ; REA, Mark S.: To illuminate or not to illuminate: Roadway lighting as it affects traffic safety at intersections. In: *Accident Analysis and Prevention* 53 (2013), S. 65–77
- [18] BULLOUGH, John D. ; REA, Mark S.: Visibility from Vehicle Headlamps and Roadway Lighting in Urban, Suburban and Rural Locations. In: *SAE Technical Paper 2010-01-0298* online (2010). – DOI 10.4271/2010-01-0298
- [19] BULLOUGH, John D. ; SKINNER, Nicholas P.: Luminance Criteria and Measurement Considerations for Light-Emitting Diode Billboards. Washington, DC, USA : Transportation Research Board, 2011. – Paper No. 11-0659
- [20] BULLOUGH, John D. ; VAN DERLOFSKE, John ; FAY, Charles R. ; DEE JR., Peping: Discomfort Glare from Headlamps: Interactions Among Spectrum, Control of Gaze and Background Light Level. In: *SAE Technical Paper 2003-01-0296* online (2003). – DOI 10.4271/2003-01-0296
- [21] CANON INC. (Hrsg.): *Legria HF G10 – HD Camcorder Bedienungsanleitung*. Tokio: Canon Inc., 2011. – http://gd1p01.c-wss.com/gds/3/0300005173/01/LEGRIA_HF_G10_UserGuide_DE_1.0.pdf
- [22] CIE 137-2000: The conspicuity of traffic signs in complex backgrounds. In: *Color Research & Application* 25 (2000), Nr. 5, S. 386–386. – ISSN 1520-6378. – DOI 10.1002/1520-6378(200010)25:5<386::AID-COL19>3.0.CO;2-3
- [23] CIE 146-2002: CIE 146-2002 CIE equations for disability glare. In: *Color Research & Application* 27 (2002), Nr. 6, S. 457–458. – ISSN 1520-6378. – DOI 10.1002/col.10102
- [24] COHEN, Amos S.: Risiko- und Sicherheitsverhalten - Sicherheit durch Unsicherheit. In: *Psychoscope - Verkehrspsychologie* 25 (2004), Nr. 10, S. 15–17. – ISSN 1420-620X
- [25] CSÍKSZENTMIHÁLYI, Mihály: *Flow: das Geheimnis des Glücks*. Klett-Cotta, 2008. – ISBN 9783608945553
- [26] Kapitel 2. In: DE BOER, J.B.: *Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist*. Eindhoven, Netherlands : Philips Technical Library, 1967, S. 11–96
- [27] DIEM, Carsten: *Blickverhalten von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr*. München : Utz, 2005 (Darmstädter Lichttechnik). – ISBN 3-8316-0451-7. – Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2004

-
- [28] DIN EN 13201-1: *Straßenbeleuchtung – Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen*. 11 2005
- [29] DIN EN 13201-3: *Straßenbeleuchtung – Teil 3: Berechnung der Güteermkmale*. 03 2015
- [30] DINGUS, Thomas A. ; KLAUER, Sheila G.: The Relative Risks of Secondary Task Induced Driver Distraction; Conference Contribution to Convergence 2008, October 20-22, Detroit, Michigan, SAE International, Warrendale, PA, USA, 2008
- [31] DONGES, E.: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. In: *Automobil-Industrie* 27 (1982), S. 183–190
- [32] DRACHEN, Anders ; NACKE, Lennart E. ; YANNAKAKIS, Georgios N. ; PEDERSEN, Anja L.: Psychophysiological Correlations with Gameplay Experience Dimensions. In: *CoRR – The Computing Research Repository* abs/1004.0243 (2010). <https://arxiv.org/abs/1004.0243>
- [33] ECE R.48 DER WIRTSCHAFTSKOMMISSION DER VEREINTEN NATIONEN FÜR EUROPA (UN/ECE): *Regelung Nr. 48 – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen*. 12 2011
- [34] EICHHOFF, L.: Möglichkeiten zur quantitativen Erfassung der physiologischen Blendung. In: *Lichttechnik* 22 (1970), Nr. 4, S. 185
- [35] FASTENMEIER, W.: *Autofahrer und Verkehrssituation - Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. Verlag TÜV Rheinland, 1995 (Mensch-Fahrzeug-Umwelt). – in: Mensch-Fahrzeug-Umwelt, Bd. 33
- [36] FECHER, Norbert: *Analyse des stationären Folgeverhaltens von Pkw-Fahrzeugführern unter Berücksichtigung von Nässe und einhergehender Sichtbehinderung*, Technische Universität Darmstadt, Diss., 2007
- [37] FREIDING, A.: *Untersuchungen zur spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges im mesopischen Bereich*. Utz, 2010 (Darmstädter Lichttechnik). – ISBN 9783831609918
- [38] GALL, D.: *Grundlagen der Lichttechnik: Kompendium*. Pflaum, 2007 (Licht und Beleuchtung). – ISBN 978-3-79050-956-4
- [39] GAVIN, Henri P.: The Levenberg-Marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems / Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University. 2016. – Forschungsbericht. – <http://people.duke.edu/~hpgavin/ce281/lm.pdf>
- [40] GRAMANN, Klaus ; SCHANDRY, Rainer: *Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. 4. Weinheim and Basel : Beltz Verlag, 2009. – ISBN 978-3-621-27674-0
- [41] GSTALTER, Herbert: Workload and stress in driving. In: BROWN, I. D. (Hrsg.): *Ergonomics International 85. Proceedings of the Ninth Congress of the International Ergonomics Association 2-6 Sept. 1985, Bournemouth*. London : Taylor & Francis, 1985, S. 994–996
- [42] HEINRICH, Stefanie ; PÖPPEL-DECKER, Martin ; SCHÖNEBECK, Susanne ; ULITZSCH, Michael: *Unfallgeschehen auf Landstraßen: eine Auswertung der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik* / Bibliothek der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch-Gladbach, 2010. – Forschungsbericht. – ISBN 978-3-86918-040-3
- [43] HENTSCHEL, Hans-Jürgen: *Licht und Beleuchtung : Theorie und Praxis der Lichttechnik*. 4., neubearb. Aufl. Heidelberg : Hüthig, 1994 http://scans.hebis.de/HEBCGI/show.pl?05539417_toc.pdf. – ISBN 3-7785-2184-5

-
- [44] HERING, Klaus P.: *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr: Literaturübersicht und empirische Felduntersuchung*, Universität zu Köln, Diss., 1999
- [45] HOLLADAY, L. L.: The fundamentals of glare and visibility. In: *Journal of the Optical Society of America (1917-1983)* 12 (1926), Juli, S. 271
- [46] HORNE, J. ; REYNER, L.: Sleep-related vehicle accidents: some guides for road safety policies. In: *Transportation Research F* 4 (2001), S. 63–74
- [47] HRISTOV, Borislav: *Untersuchung des Blickverhaltens von Kraftfahrern auf Autobahnen*, Diss., 2009. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-27701>. – Dresden, Techn. Univ.
- [48] HUEMER, Anja K. ; VOLLRATH, Mark: Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten – Machbarkeitsstudie / Bibliothek der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Brüderstraße 53, 2012. – Forschungsbericht. – ISBN 978–3–86918–233–9
- [49] HUGUENIN, Raphael D.: *Faktor Mensch im Verkehr*. Bd. H. 37: *Fahrerverhalten im Straßenverkehr : ein Beitrag zur Theorienbildung in der Verkehrspsychologie*. Braunschweig : Rot-Gelb-Grün, 1988 http://scans.hebis.de/HEBCGI/show.pl?01016109_toc.pdf. – ISBN 3–88589–065–8
- [50] HUGUENIN, Raphael D.: Das Unfallrisiko junger Fahrer – Bestandsaufnahme und Überlegungen zu wirksamen Gegenmaßnahmen. In: *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit* (2010), Nr. 207
- [51] HUSAR, Peter: *Biosignalverarbeitung*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2010. – ISBN 3–642–12657–X (Sekundärausgabe)
- [52] ILNUMERICS GMBH (Hrsg.): *ILNumerics - Technical Computing, C# Array Visualizer Manual*. Berlin: ILNumerics GmbH, 2016. – <http://ilnumerics.net/csharp-debug-array-visualizer.html>
- [53] KHANH, T.Q. ; BODROGI, P. ; VINH, Q.T. ; WINKLER, H.: *LED Lighting: Technology and Perception*. Wiley, 2015. – ISBN 978–3–527–41212–9
- [54] KHANH, Tran Q.: *Physiologische und psychophysische Aspekte in der Photometrie, Colorimetrie und in der Farbbildverarbeitung*. Ilmenau, 2004. – Habilitationsschrift
- [55] KIMURA-MINODA, M. T.; A. T.; Ayama: Evaluation of Glare from Color LEDs for Young and Elderly. In: *The Illuminating Engineering Institute of Japan* Vol. 94 (2010), Nr. 2
- [56] KLEBELSBERG, D.: *Verkehrspsychologie*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. – ISBN 978–3–642–47507–8
- [57] KOCH, Carmen: *Rolle visueller Referenzen bei der Objektlokalisierung*, Diss., Juli 2005. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:19-41754>
- [58] KRÜGER, Udo ; PORSCHE, Tobias ; SCHMIDT, Franz ; WALKLING, Andreas: Quantitative Blendungsbewertung: Blendungskennzahlen mit bilddauflösender Leuchtdichtemesstechnik. In: *Licht* 64 (2012), Nr. No. 7/8, S. 64–67
- [59] KÜHN, M. ; FRÖMING, R. ; SCHINDLER, V.: *Fußgängerschutz: Unfallgeschehen, Fahrzeuggestaltung, Testverfahren*. Springer Berlin Heidelberg, 2006 (VDI-Buch). – ISBN 978–3–540–34303–5
- [60] LACHENMAYR, B.: *Auge - Brille - Refraktion: Schober-Kurs: verstehen - lernen - anwenden ; 24 Tabellen*. Thieme, 2006. – ISBN 978–313139554–2
-

-
- [61] LAZARUS, R.S.: *Stress and Emotion: A New Synthesis*. Springer Publishing Company, 2006. – ISBN 978–0826103802
- [62] *Lexikon der Biologie – Linsenauge*. – Copyright 1999 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/linsenauge/39491>, online abgerufen am 14.08.2016
- [63] LOGITECH EUROPE S.A (Hrsg.): *Technische Daten des Logitech G27 Racing Wheel*. Lausanne: Logitech Europe S.A, 2014. – http://support.logitech.com/de_de/article/25619?product=a0qi00000069vCPAAY
- [64] MAAG, Christian ; MARK, Christian ; KRÜGER, Hans-Peter: Development of a Cognitive-Emotional Model for Driver Behavior. In: *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications* (2010), Nr. 6701, S. 245–251
- [65] MALIK, Fredmund: *Strategie des Managements komplexer Systeme: ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme*. 6., unveränd. Aufl. Bern [u.a.] : Haupt, 2000. – ISBN 3258053693. – Zugl.:St. Gallen, Univ., Habil.-Schr., 1977
- [66] MCKNIGHT, Bert B. A. James; Adams A. A. James; Adams ; HUMAN RESOURCES RESEARCH ORGANIZATION, Va. Alexandria (Hrsg.): *Driver Education Task Analysis. Volume II: Task Analysis Methods. Final Report*. Washington, D.C. : National Highway Traffic Safety Administration (DOT), 1970
- [67] *Merriam Webster – Dictionary and Thesaurus*. Springfield, MA, USA : online, 2015. – <http://www.merriam-webster.com/dictionary/complex>
- [68] MISHKIN, Mortimer ; UNGERLEIDER, Leslie G. ; MACKO, Kathleen A.: Object vision and spatial vision: two cortical pathways. In: *Trends in Neurosciences* 6 (1983), 414 - 417. http://ling.umd.edu/~ellenlau/courses/nacs642/Mishkin_1983.pdf. – ISSN 0166–2236
- [69] MÜLLER, Nina ; KHANH, Tran Q.: Modelling of the perceived complexity of road environment in night time driving, Conference contribution to VISION 2012, SIA Société des Ingénieurs de l'Automobile, 2012
- [70] MÜLLER, Nina ; KHANH, Tran Q. ; BODROGI, Peter: Discomfort glare and stress as a question of lighting geometry and radiance. In: TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT, Fachgebiet Lichttechnik (Hrsg.): *International Symposium on Automotive Lighting 2013*, 2013, S. 92–100
- [71] NIEMAND, Andreas: *Technische Untersuchungen für die digitale Projektion auf der Basis der DLP- und D-ILA-Technologien und deren Eignung für eine mögliche D-Cinematentechnik*, Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Diplomarbeit, 2003
- [72] NORTON, T.T. ; CORLISS, D.A. ; BAILEY, J.E. ; BAILEY, J.E.: *The Psychophysical Measurement of Visual Function*. Butterworth-Heinemann, 2002. – ISBN 978–0750699358
- [73] OPTIS WORLD: *VRXperience – Dynamic Driving Experience*. La Farlède, France, 2016. <http://www.optis-world.com/product-offering-light-simulation-virtual-reality-software/vrxperience-dynamic-driving-software>. – abgerufen am 18.08.2016
- [74] PANASONIC DEUTSCHLAND (Hrsg.): *Spec file / PRODUCT NO.: PT-D7700 / PRODUCT NAME: DLP™-Based Projector*. Hamburg: Panasonic Deutschland, 2005. – ftp://ftp.panasonic.com/pub/Panasonic/Drivers/PBTS/brochures/S_PT-D7700U.pdf

-
- [75] PAR MEDIZINTECHNIK GMBH & CO. KG (Hrsg.): *Par-Port/F Ambulante Biosignalerfassung Online*. Berlin: PAR Medizintechnik GmbH & Co. KG. – <http://www.par-berlin.com/fileadmin/documents/produktdatenblaetter/PARPORT.pdf>
- [76] PARAMEL, Galina V. ; KHANH, Tran Q.: Visual aging: Older observers are disadvantaged at night driving. München : Utz, Januar 2007 (7th International Symposium on Automotive Lighting: proceedings ; September 25 - 26, 2007 / Technische Universität Darmstadt, Laboratory of Lightning Technology. Publ. by Tran Quoc Khanh. - München: Utz, 2007, Darmstädter Lichttechnik; 12). – ISBN 3831607117
- [77] PORSCHE, T. ; KRÜGER, U. ; SCHMIDT, F.: Einsatz von bildgebenden Leuchtdichtemesskameras bei der Bewertung von Blendungssituationen, Konferenzbeitrag zur Licht 2012: 20. Gemeinschaftstagung, 11. bis 14. September 2012, LiTG
- [78] RADTKE, Alfons ; SEIDEL, Bernd: Demografischer Wandel: Modellprojekt Sicherung der Mobilität auf dem Land, Abschlussbericht / Ingenieurgesellschaft für Verkehrs- und Eisenbahnwesen mbH im Auftrag des Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr. Hannover, 2014. – Forschungsbericht
- [79] RASMUSSEN, J.: Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. In: *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on SMC-13* (1983), May, Nr. 3, S. 257–266. – ISSN 0018–9472
- [80] RAUCH, Nadja ; GRADENEGGER, Barbara ; KRÜGER, Hans-Peter: Darf ich oder darf ich nicht? Situationsbewusstsein im Umgang mit Nebenaufgaben während der Fahrt. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften* 1 (2009), Nr. 9, S. 3–17
- [81] REA, Mark S. ; BULLOUGH, John D. ; ZHOU, Y.: A method for assessing the visibility benefits of roadway lighting. In: *Lighting Research and Technology* vol. 42 (2010), S. 215–241. – DOI 10.1177/1477153509360855
- [82] REA, Mark S. ; OUELLETTE, Michael J.: Relative visual performance: A basis for application. In: *Lighting Research and Technology* 23 (1991), Nr. 3, S. 135–144. – DOI 10.1177/096032719102300301
- [83] REINISCH, Romy: *Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz*. Darmstadt, Technische Universität, Diss., 2010. <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/2208/>
- [84] RICHTER, Peter ; WAGNER, Thomas ; HEGER, Ralf ; WEISE, Gunther: Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads-a quasi-experimental field study. In: *Ergonomics* 41 (1998), Nr. 5, S. 593–609. – DOI 10.1080/001401398186775, PMID: 9613221
- [85] ROIDL, Ernst: *Determinants of Emotional Experiences in Traffic Situations and Their Impact on Driving Behaviour*. Lüneburg, Diss., 2013. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:lue4-opus-142656>. – Lüneburg, Leuphana Universität Lüneburg, Diss., 2013
- [86] RYTZ, Michael: Senioren und Verkehrssicherheit – Von der Analyse zur Prävention / VCS Verkehrs-Club der Schweiz. Bern, 2006. – Forschungsbericht
- [87] SAMMET, T.: *Motion-Cueing-Algorithmen für die Fahrsimulation*. Düsseldorf, Diss., 2006
- [88] SCHAAFF, Kristina: *Integration von physiologischem Feedback in Lernanwendungen unter Alltagsbedingungen*. Karlsruhe, Diss., 2014. <http://d-nb.info/1066736960/34>. – Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Diss., 2014

-
- [89] SCHLAG, B. ; PETERMANN, I. ; WELLER, G. ; SCHULZE, C.: *Mehr Licht - mehr Sicht - mehr Sicherheit?: Zur Wirkung verbesserter Licht- und Sichtbedingungen auf das Fahrverhalten*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2009 (Verkehrspsychologie). – ISBN 978–3531913971
- [90] SCHLAG, B. ; VOIGT, J.: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen. In: *Berichte der Bundesanstalt fuer Strassenwesen. Unterreihe Verkehrstechnik* (2015), Nr. 249
- [91] SCHLAG, Bernhard: *Verkehrspsychologie: Mobilität - Sicherheit - Fahrerassistenz*. Lengerich [u.a.] : Pabst, 2004. – ISBN 3–89967–107–4
- [92] SCHMIDT-CLAUSEN, Hans-Joachim ; BINDELS, Johannes Th. H.: The Increase in Threshold Luminance as a Criterion for Evaluation of Glare. In: *Lichttechnik* (1971), Dezember, Nr. 12, S. 27–46
- [93] SCHMIDT-CLAUSEN, Hans-Joachim ; BINDELS, Johannes Th. H.: Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting. In: *Lighting Research and Technology* (1974), Januar, Nr. 6, S. 78–88. – DOI 10.1177/096032717400600204
- [94] SCHMIDT-CLAUSEN, Hans-Joachim ; FREIDING, Achim: Sehvermögen von Kraftfahrern und Lichtbedingungen im nächtlichen Straßenverkehr / Bibliothek der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Brüderstraße 53, 2004. – Forschungsbericht. – ISBN 3–85509–102–4
- [95] SCHÖNHAMMER, Rainer: *UTB. Bd. 3142: Einführung in die Wahrnehmungspsychologie: Sinne, Körper, Bewegung. 2., überarb., aktualisierte und erw. Aufl.* Wien : Facultas.wuv, 2013. – ISBN 978–3825240769
- [96] SCHÖMIG, N ; SCHOCH, S ; NEUKUM, A ; SCHUMACHER, M ; WANDTNER, B: Simulatorstudien zur Ablenkungswirkung fahrfremder Tätigkeiten. In: *Berichte der Bundesanstalt fuer Strassenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit* (2015), Nr. 253
- [97] SCHREUDER, D.A.: *Road Lighting for Safety*. Thomas Telford, 1998. – ISBN 978–0727726162
- [98] SCHREUDER, D.A.: *Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception*. 1. Auflage. Springer Netherlands, 2008. – ISBN 978–1–4020–8601–4
- [99] SCHUH, Günther ; KRUMM, Stephan ; AMANN, Wolfgang: *Chefsache Komplexität: Navigation für Führungskräfte*. Wiesbaden : Imprint: Springer Gabler, 2013. – ISBN 3658016140 (Sekundärausgabe). – DOI 10.1007/978-3-658-01614-2
- [100] SCHULZ, Ralph: *Blickverhalten und Orientierung von Kraftfahrern auf Landstraßen*. Dresden [u.a.], Diss., 2012. <http://d-nb.info/1068443081/34>. – Dresden, Technische Universität Dresden, Diss., 2012
- [101] SCHWEIGERT, Manfred: *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. München, Technische Universität München, Dissertation, 2003. – Diss.
- [102] SEDLMEIER, Peter ; RENKEWITZ, Frank: *Forschungsmethoden und Statistik in der Psychologie*. München [u.a.] : Pearson Studium, 2008 (ps psychologie). – ISBN 978–3827371973
- [103] SELKET: *Ventral-dorsal streams*. Selket made this from File:Gray728.svg, CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons, 2007. – <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1679336>, abgerufen am 18.08.2016

-
- [104] SELYE, H.: *The stress of life*. McGraw-Hill, 1984 (Schaum's Paperbacks). – ISBN 9780070562127
- [105] SELYE, Hans: Stress and disease. In: *The Laryngoscope* 65 (1955), Nr. 7, S. 500–514. – ISSN 1531–4995
- [106] SOLSO, Robert L.: *Kognitive Psychologie*. 6. Heidelberg : Springer Medizin Verlag, 2005. – ISBN 3–540–21270–1
- [107] STATISTISCHES BUNDESAMT: *Polizeilich erfasste Unfälle – Unfälle und Verunglückte im Straßenverkehr*. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/Tabellen/UnfaelleVerunglueckte.html>. Version: 2015
- [108] STATISTISCHES BUNDESAMT, Wiesbaden: *Verkehr – Verkehrsunfälle 2014, Fachserie 8 Reihe 7*. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700147004.pdf?__blob=publicationFile, 2016. – online; abgerufen 23.Juli 2016
- [109] STATISTISCHES BUNDESAMT, Wiesbaden: *Verkehr – Verkehrsunfälle 2015, Fachserie 8 Reihe 7*. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700157004.pdf?__blob=publicationFile, 2016. – online; abgerufen 23.Juli 2016
- [110] STEPHAN, Egon ; HUSSY, Walter ; FOLLMANN, Wilfried ; HERING, Klaus ; KLAFFER, Katrin ; MUTZ, Gerhard ; THIEL, Svenja: *Kölner Verfahren zur vergleichenden Erfassung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr / Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) und Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)*. Frankfurt a. M., 2000. – Forschungsbericht. – ISSN 0933 050–X. – FAT Schriftenreihe Nr. 159
- [111] THEEUWES, Jan ; ALFERDINCK, Johan W. A. M. ; PEREL, Michael: Relation Between Glare and Driving Performance. In: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 44 (2002), Nr. 1, S. 95–107. – DOI 10.1518/0018720024494775
- [112] THEOFANO, Dimitra: *Maße zur Erfassung von visueller Ablenkung bei verschiedenen komplexen Streckenabschnitten*, Diss., 2004. http://www.opus-bayern.de/uni-regensburg/volltexte/2004/352/pdf/dissertation_theofanou.pdf. – Regensburg, Univ., Diss., 2003
- [113] TRIMPOP, Rüdiger: *Advances in psychology*. Bd. 107: *The psychology of risk taking behavior*. Amsterdam [u.a.] : North-Holland, 1994. – ISBN 0–444–89961–8
- [114] ULRICH, Hans ; PROBST, Gilbert J. B.: *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: ein Brevier für Führungskräfte*. Bern [u.a.] : Haupt, 1988. – ISBN 3–258–03976–3
- [115] VOELKL, Judith ; ELLIS, Gary: Measuring Flow Experiences in Daily life: An Examination of the Items Used to Measure Challenge and Skill. In: *Journal of Leisure Research* 30 (1998), Nr. 3. – ISSN 2159–6417
- [116] VOGT, J. ; ADOLPH, L ; AYAN, T ; UDOVIC, A ; KASTNER, M: Stress in modern air traffic control systems and potential influences on memory. In: *Human factors and aerospace safety* 2 (2002), Nr. 4, S. 355–378. – ISSN 1468–9456
- [117] VOGT, Joachim ; HAGEMANN, Tim ; KASTNER, Michael: The Impact of Workload on Heart Rate and Blood Pressure in En-Route and Tower Air Traffic Control. In: *Journal of Psychophysiology* 20 (2006), Nr. 4, S. 297–314. – DOI 10.1027/0269-8803.20.4.297

-
- [118] VOS, J.J.: Age dependence of glare effects and their significance in terms of visual ergonomics, In W. Adrian (Ed.), 1995 (Proceedings of the Third International Symposium, Lighting for Aging Vision and Health), S. 11–25
- [119] WILDE, Gerald J. S.: Risk homeostasis theory and traffic accidents: propositions, deductions and discussion of dissension in recent reactions. In: *Ergonomics* 31 (1988), Nr. 4, S. 441–468. – DOI 10.1080/00140138808966691
- [120] WILLIAMS, Thomas ; KELLEY, Colin: *gnuplot 5.0 – An Interactive Plotting Program*. Fairfax, VA, USA: Geeknet Inc., 2016. – http://gnuplot.info/docs_5.0/gnuplot.pdf
- [121] WINDEMUTH, Dirk ; MÜLLER-GETHMANN, Hiltraut ; BINDZIUS, Fritz ; ECKHARDT, Gerald: Die Stresskammer – Ein mobiler Arbeitsplatz zur Verdeutlichung psychischer Belastungen und Beanspruchungen. In: *Die BG* (2001), Oktober, Nr. 12, S. 520–523
- [122] WINNER, H. ; HAKULI, S. ; LOTZ, F. ; SINGER, C.: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015 (ATZ/MTZ-Fachbuch). – ISBN 978–3–658–05734–3
- [123] WITTING, W.: *Licht. Sehen. Gestalten: lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen für Architekten und Lichtdesigner*. Birkhäuser, 2014. – ISBN 978–3–99043–658–5
- [124] WÖRDENWEBER, Burkard: *Automotive lighting and human vision*. Berlin and New York : Springer, 2007 <http://www.worldcat.org/oclc/185022114>. – ISBN 978–3–540–36696–6
- [125] YOUNG, K. ; REGAN, M.: Driver distraction: A review of the literature. In: *Distracted Driving* (2007), S. 379–405
- [126] ZÖLLER, Ilka M.: *Analyse des Einflusses ausgewählter Gestaltungsparameter einer Fahrsimulation auf die Fahrerhaltensvalidität*. Darmstadt, Technische Universität, Diss., Juni 2015. <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4608/>

A Anhang

A.1 Statistische Methoden

Die im folgenden Abschnitt vorgestellten Berechnungsvorgaben sind dem Lehrbuch von Sedlmeier u. Renkewitz [102] entnommen.

A.1.1 t-Tests

t-Tests werden u.A. verwendet um festzustellen, ob sich zwei Populationsmittelwerte signifikant voneinander unterscheiden.

Unabhängige Stichproben

Unabhängige Stichproben: Die Werte der einen Stichprobe erlauben keine Vorhersage über die Werte der anderen Stichproben.

$$t = \frac{(\bar{x}_A - \bar{x}_B) - (\mu_A - \mu_B)}{\hat{\sigma}_{\bar{x}_A - \bar{x}_B}} \quad (\text{A.1})$$

$(\mu_A - \mu_B)$ ist eine Vermutung über die zu erwartenden Werte. Der Ausdruck steht für die Nullhypothese und ist meist Null, da man oft davon ausgeht, dass sich die beiden Mittelwerte nicht unterscheiden.

Standardfehler des Mittelwertunterschiedes:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}_A - \bar{x}_B} = \sqrt{\frac{(n_A - 1) \cdot \hat{\sigma}_A^2 + (n_B - 1) \cdot \hat{\sigma}_B^2}{(n_A - 1) + (n_B - 1)} \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)} \quad (\text{A.2})$$

bzw. wenn $n_A = n_B = n$:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}_A - \bar{x}_B} = \sqrt{\hat{\sigma}_{\bar{x}_A}^2 + \hat{\sigma}_{\bar{x}_B}^2} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_A^2}{n} + \frac{\hat{\sigma}_B^2}{n}} \quad (\text{A.3})$$

Der aus den empirischen Werten ermittelte t-Wert wird mit einem *kritischen t-Wert* verglichen. Dieser ist ein theoretischer Wert, der durch die Wahl von α und β festgelegt wird. Wenn der Betrag des empirischen t-Wertes größer ist als der des kritischen t-Wertes, dann ist das Ergebnis signifikant.

Vor dem Test sollte eine Poweranalyse durchgeführt werden, um abzuschätzen, wie hoch die Chance ist, einen tatsächlich vorhandenen Populationseffekt auch zu entdecken. Dazu wird zunächst der Populationseffekt für unabhängige Mittelwertsunterschiede als Abstandsmaß in Standardabweichungseinheiten ausgedrückt.

$$d = \frac{\mu_A - \mu_B}{\sigma_{AB}} \quad (\text{A.4})$$

A.1.2 Varianzanalyse

Die Varianzanalyse (Analysis of Variances, ANOVA) dient dazu, die Unterschiede zwischen Mittelwerten auf Signifikanz zu überprüfen, wenn mehr als zwei Stichproben vorliegen. Dazu werden die Varianzen untersucht, die innerhalb von Stichproben und zwischen verschiedenen Stichproben auftreten. Innerhalb der ANOVA wird der F-Test als statistisches Verfahren angewandt. Voraussetzungen für die ANOVA:

- Die Werte in den Populationen sind normalverteilt.
- Die Populationen haben die gleiche Varianz.
- Die Stichproben sind unabhängig.

Gegenüber der ersten beiden Bedingungen ist die ANOVA robust. Wenn jedoch abhängige Stichproben vorliegen, muss eine *ANOVA für abhängige Stichproben* durchgeführt werden.

Die einfaktorielle Varianzanalyse wird verwendet, wenn mehrere Stichproben (Anzahl: k , Index j) untersucht werden, die sich in einem Faktor unterscheiden. In diesem Fall wäre das bei der durchgeführten Fahrsimulatorstudie der Fall, wenn ausschließlich die Bedingungen A, B, C und D verglichen würden (einfaktoriell, unabhängige Stichproben).

Die Nullhypothese der Varianzanalyse besagt, dass alle Populationen den gleichen Mittelwert haben.

Bei der Varianzanalyse wird davon ausgegangen, dass die untersuchten Gruppen aus Populationen mit der gleichen Varianz stammen. Die Varianz wird aus den Stichprobendaten geschätzt, und zwar die Varianz innerhalb der Gruppen und auch die Varianz zwischen den Gruppen. Diese Varianzen werden miteinander verglichen. Trifft die Nullhypothese zu, so werden beide Varianzschätzungen zu einem ähnlichen Ergebnis führen. Wenn sich die Mittelwerte aber unterscheiden, so wird die Varianzschätzung aufgrund der Stichprobenmittelwerte größer ausfallen als die Schätzung aufgrund der Varianz innerhalb der Stichproben.

Varianzzerlegung

Die Gesamtvariation wird in eine systematische Variation zwischen den Gruppen und eine Fehlervariation innerhalb der Gruppen zerlegt. Gesamtvariation:

$$QS_{Gesamt} = \sum_j \sum_i (x_{ij} - \bar{\bar{x}})^2 \quad (\text{A.5})$$

Fehlervariation bzw. Quadratsumme innerhalb der Gruppen:

$$QS_{inn} = \sum_j \sum_i (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (\text{A.6})$$

Systematische Variation bzw. Quadratsumme zwischen den Gruppen:

$$QS_{zw} = \sum_j n_j (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2 \quad (\text{A.7})$$

Dabei ist n_j die Anzahl der Teilnehmer in der Gruppe j .

Es gilt:

$$QS_{Gesamt} = QS_{inn} + QS_{zw} \quad (A.8)$$

Dabei ist die systematische Variation innerhalb des Experimentes erklärbar, die Fehlervariation hingegen nicht. Für die Varianzschätzungen folgt:

$$\hat{\sigma}_{zw}^2 = \frac{QS_{zw}}{df_{zw}} = \frac{\sum_j n_j (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2}{k - 1} \quad (A.9)$$

$$\hat{\sigma}_{inn}^2 = \frac{QS_{inn}}{df_{inn}} = \frac{\sum_j \sum_i (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{\sum_j (n_j - 1)} \quad (A.10)$$

Der F-Test in der einfaktoriellen ANOVA

Das Verhältnis der beiden Varianzabschätzungen wird als F-Wert bezeichnet.

$$F = \frac{\hat{\sigma}_{zw}^2}{\hat{\sigma}_{inn}^2} \quad (A.11)$$

Wenn die Varianzen gleich sind, gilt $F = 1$. Für $F > 1$ ist die Varianz zwischen den Gruppen größer als die innerhalb der Gruppen. Die F-Verteilung zeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit bei Gültigkeit der Nullhypothese verschiedene F-Werte auftreten. Die Form der F-Verteilung hängt von der Anzahl der Freiheitsgrade ab. Für den ermittelten F-Wert kann der zugehörige Wert der F-Verteilung in einer Tabelle (oder in Excel) nachgeschaut werden. Dazu werden die Freiheitsgrade im Zähler ($k - 1$) und die Freiheitsgrade im Nenner ($\sum_{j=1}^k (n_j - 1) = N - k$) benötigt. Der so ermittelte Wert gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Alternativhypothese zutrifft.

Abbildung A.1.: Anweisungen für die Probanden der Feldtests.

Anweisungen für Probanden

Dies ist eine Testfahrt, bei der die wahrgenommene Komplexität von Verkehrssituationen gemessen werden soll. Die Fahrt umfasst Autobahnstrecken, Strecken auf der Landstraße und auch in der Stadt und wird etwa zwei Stunden dauern.

Während der Fahrt werden Ihre Hautleitfähigkeit, Herzfrequenz und Augenbewegungen gemessen. Der Testleiter wird Sie schon vor dem Beginn der Fahrt an das Biodaten-Messgerät anschließen, um Ihre Daten in ruhigem Zustand zu kennen.

Vor, während und nach der Fahrt werden Sie gebeten Fragen zu beantworten.

Ihre Antworten und ihre physiologischen Messwerte werden vom Fachgebiet Lichttechnik der TU Darmstadt nur zu Forschungszwecken verwendet und anonymisiert gespeichert. Die Verbindung zu Ihrer Person kann nach Abschluss der Tests nicht mehr hergestellt werden.

Bitte tun Sie während der Fahrt das Folgende:

- Konzentrieren Sie sich auf das **Verkehrsgeschehen** und auch auf die **Umgebung** der Straße.
- Bitte beschreiben Sie das Verkehrsgeschehen von Zeit zu Zeit mit einer Zahl von 0 (nicht komplex) bis 100 (sehr komplex), besonders dann, wenn sich der „Fahr-Anspruch“ ändert. Eine solche Zahl kann zu jeder Zeit genannt werden. Zögern Sie nicht – je weniger Zeit zwischen dem Sehen und Beschreiben vergeht, desto „frischer“ ist der Eindruck.
- Folgen Sie den Richtungsanweisungen des Testleiters.
- Wenn Sie sich unwohl fühlen, teilen Sie dies dem Testleiter mit. Die Fahrt kann zu jeder Zeit unterbrochen werden.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

A.2 Material zu den Feldtests zu Komplexität

A.2.1 Ergänzende Daten zur Methodik

Die Anweisungen, welche die Probanden zu Beginn der Untersuchung schriftlich vorgelegt bekamen, sind in Abb. A.1 gezeigt.

A.2.2 Ergänzende Daten zur Auswertung

Mittelwerte und Standardabweichung der Komplexitätsbewertungen der Probanden nach Straßentyp sind in den Tabellen A.1a und A.1b dargestellt.

Die Tabellen A.2 bis A.8 beinhalten die Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA der abhängigen Stichproben für die Kombinationen Straßentyp → UV, Straßentyp → Verkehrsaufkommen → UV und Straßentyp → Menge der Lichtquellen → UV. Dargestellt sind die p-Werte, wobei ein $p \leq 0,05$ auf einen starken statistischen Zusammenhang hinweist (dunkelgrün) und ein $0,05 < p \leq 0,1$ auf einen schwachen Zusammenhang (hellgrün).

(a) Mittelwerte.				(b) Standardabweichung σ .			
M geord	BAB	Landstraße	innerorts	σ	BAB	Landstraße	innerorts
Pr#6	52,9	49,1	47,6	Pr#6	13,7	16,2	15,8
Pr#8	37,3	30,7	43,2	Pr#8	14,6	12,1	15,9
Pr#11	41,2	32,8	42,9	Pr#11	13,2	12,2	15,4
Pr#10	39,3	43,3	42,3	Pr#10	14,9	16,3	11,7
Pr#4	43,3	20,0	38,9	Pr#4	16,0	9,6	26,0
Pr#7	14,5	23,0	16,9	Pr#7	7,8	12,9	12,1
Pr#9	10,3	7,6	8,2	Pr#9	4,4	4,1	5,2

Tabelle A.1.: Mittelwerte und Standardabweichung σ der Komplexitätsbewertungen der Probanden nach Straßentyp.

Tabelle A.2.: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA abhängiger Stichproben: Darstellung der p-Werte für die Umgebungen Autobahn, Landstraße und innerorts. N ist die Anzahl der für diese UV-Kombination vorliegenden Situationen.

Autobahn					
AV	Gegenvk	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl	Vk
Kx	0,493	0,933	0,736	0,890	0,017
HF	0,400	0,267	0,261	0,411	0,687
EOG	0,211	0,493	0,961	0,385	0,943
SCL	0,524	0,602	0,617	0,910	0,864
SCR	0,146	0,822	0,203	0,103	0,297
v	0,420	0,183	2,09E-03	0,266	0,339
N	195	159	214	151	195
Landstraße					
AV	Gegenvk	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl	Vk
Kx	4,81E-03	0,905	0,965	0,588	0,659
HF	0,770	0,401	0,901	0,529	0,295
EOG	0,064	0,558	0,102	0,940	0,322
SCL	0,171	0,428	0,834	0,446	0,666
SCR	0,916	0,586	0,563	0,932	0,823
v	0,040	0,044	0,273	0,714	0,181
N	195	104	187	112	195
innerorts					
AV	Gegenvk	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl	Vk
Kx	0,635	0,117	0,049	0,552	0,120
HF	0,249	0,601	0,114	0,168	0,586
EOG	0,299	0,304	0,088	0,540	0,237
SCL	0,135	0,371	0,983	0,966	0,324
SCR	0,083	0,816	0,930	0,845	0,845
v	0,612	0,810	0,698	0,289	0,712
N	262	203	240	262	262

Tabelle A.3.: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA abhängiger Stichproben: Darstellung der p-Werte für Autobahnen bei verschieden hohem Verkehrsaufkommen. Bei keinem und sehr hohem Verkehrsaufkommen sowie bei Stau lagen nicht genug Messpunkte zur Auswertung vor. N ist die Anzahl der für diese UV-Kombination vorliegenden Situationen.

Vk	AV	Gegenvk	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl
niedrig	Kx	0,728	0,819	0,252	0,879
	HF	0,615	0,202	0,932	0,195
	EOG	0,284	0,414	0,892	0,272
	SCL	0,244	0,965	0,626	0,881
	SCR	0,326	0,689	0,702	0,613
	v	0,759	0,069	0,367	0,145
	N	30	11	22	18
mittel	Kx	0,601	0,390	0,372	0,799
	HF	0,552	0,621	0,149	0,339
	EOG	0,391	0,582	0,156	0,526
	SCL	0,923	0,537	0,292	0,737
	SCR	0,433	0,902	2,08E-03	0,141
	v	0,117	0,125	0,782	0,174
	N	70	79	96	63
hoch	Kx	0,072	0,269	0,030	
	HF	0,450	0,493	0,582	
	EOG	0,678	0,452	0,389	
	SCL	0,504	0,392	0,420	
	SCR	0,353	0,732	0,383	
	v	0,124	0,397	0,583	
	N	39	36	51	

Tabelle A.4.: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA abhängiger Stichproben: Darstellung der p-Werte für Landstraßen bei verschieden hohem Verkehrsaufkommen. Bei hohem und sehr hohem Verkehrsaufkommen sowie bei Stau lagen nicht genug Messpunkte zur Auswertung vor. N ist die Anzahl der für diese UV-Kombination vorliegenden Situationen.

Vk	AV	Gegenvk	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl
keins	Kx	0,024	0,221	0,361	0,360
	HF	0,564	0,441	0,190	0,886
	EOG	0,713	0,609	0,423	0,733
	SCL	0,259	0,352	0,335	0,438
	SCR	0,267	0,500	0,493	0,837
	v	0,314	6,22E-03	0,127	0,802
	N	66	41	56	42
niedrig	Kx	0,183	0,653	0,211	0,655
	HF	0,758	0,903	0,924	0,819
	EOG	0,908	0,729	0,164	0,496
	SCL	0,638	0,378	0,550	0,794
	SCR	0,777	0,313	0,492	0,917
	v	0,610	0,422	0,675	0,892
	N	51	47	62	38
mittel	Kx	0,122	0,924	0,426	0,717
	HF	0,545	0,705	0,337	0,248
	EOG	0,133	0,064	0,032	0,260
	SCL	0,548	0,768	0,361	0,386
	SCR	0,372	0,423	0,500	0,421
	v	0,048	0,150	0,805	0,705
	N	31	18	26	63

Tabelle A.5.: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA abhängiger Stichproben: Darstellung der p-Werte innerorts bei verschieden hohem Verkehrsaufkommen. Bei sehr hohem Verkehrsaufkommen sowie bei Stau lagen nicht genug Messpunkte zur Auswertung vor. N ist die Anzahl der für diese UV-Kombination vorliegenden Situationen.

Vk	AV	Gegenvk	Lichtquellen	Fahrstr.	Leuchtrekl
keins	Kx	0,030	0,923	0,736	
	HF	0,695	0,174	0,601	
	EOG	0,265	0,305	0,844	
	SCL	0,219	0,334	0,992	
	SCR	0,248	0,423	3,82E-04	
	v	0,808	0,030	0,453	
	N	41	41	56	
niedrig	Kx	0,742	0,718	0,634	0,613
	HF	0,284	0,577	0,094	0,397
	EOG	0,076	0,289	0,584	0,899
	SCL	0,325	0,980	0,483	0,952
	SCR	0,591	0,998	0,036	0,163
	v	0,178	0,216	0,790	0,343
	N	44	44	56	51
mittel	Kx	0,142	0,024	0,172	0,170
	HF	0,286	0,416	0,180	0,119
	EOG	0,345	0,801	0,117	0,682
	SCL	0,382	1,000	0,522	0,657
	SCR	0,721	0,812	0,758	0,596
	v	0,619	0,569	0,705	0,438
	N	67	67	69	85
hoch	Kx	0,020	0,104	0,260	0,174
	HF	0,485	0,583	0,051	0,568
	EOG	0,144	0,234	0,940	0,167
	SCL	0,354	0,091	0,202	0,055
	SCR	0,625	0,505	0,567	0,330
	v	0,398	0,269	0,725	0,777
	N	33	33	73	45

Tabelle A.6.: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA abhängiger Stichproben: Darstellung der p-Werte auf Autobahnen bei unterschiedlichen Mengen von Lichtquellen. Bei „viele Lichtquellen“ lagen nicht genug Messpunkte zur Auswertung vor. N ist die Anzahl der für diese UV-Kombination vorliegenden Situationen.

LQ	AV	Gegenvk	Verkehr	Fahrstr.	Leuchtrekl
keine	Kx	0,958	0,465	0,505	
	HF	0,021	0,468	0,316	
	EOG	0,297	0,492	0,362	
	SCL	0,790	0,195	0,266	
	SCR	0,315	0,200	0,047	
	v	0,553	0,585	0,595	
	N	81	64	77	
wenige	Kx	0,265	1,20E-03	0,126	
	HF	0,494	0,313	0,872	
	EOG	0,232	0,392	0,481	
	SCL	0,562	0,467	0,485	
	SCR	0,988	0,630	0,230	
	v	0,373	0,359	0,855	
	N	43	47	42	
mittel	Kx	0,705	0,247	0,640	0,874
	HF	0,500	0,258	0,492	0,983
	EOG	0,192	0,289	0,350	0,315
	SCL	0,121	0,474	0,410	0,435
	SCR	0,126	0,778	0,019	0,112
	v	0,766	0,616	0,492	0,176
	N	10	13	16	18

Tabelle A.7.: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA abhängiger Stichproben: Darstellung der p-Werte auf Landstraßen bei unterschiedlichen Mengen von Lichtquellen. Bei „viele Lichtquellen“ lagen nur bei der UV Fahrstreifen genug Messpunkte zur Auswertung vor. N ist die Anzahl der für diese UV-Kombination vorliegenden Situationen.

LQ	AV	Gegenvk	Verkehr	Fahrstr.	Leuchtrekl
keine	Kx	0,038	0,794	0,153	
	HF	0,327	0,541	0,869	
	EOG	0,324	0,732	0,311	
	SCL	0,033	0,288	0,628	
	SCR	0,321	0,907	0,451	
	v	0,616	0,202	0,566	
	N	57	70	53	
wenige	Kx	0,540	0,453	0,588	0,850
	HF	0,504	0,505	0,537	0,933
	EOG	0,564	0,665	0,552	0,325
	SCL	0,151	0,138	0,524	0,599
	SCR	0,642	0,669	0,462	0,621
	v	0,693	0,348	0,871	0,782
	N	39	38	42	39
mittel	Kx	0,194	0,884	0,232	0,434
	HF	0,291	0,711	0,288	0,284
	EOG	0,910	0,248	0,663	0,781
	SCL	0,632	0,166	0,549	0,573
	SCR	0,669		0,320	0,500
	v	0,099	0,816	0,611	8,489E-05
	N	17	10	16	13
viele	Kx			0,564	
	HF				
	EOG			0,835	
	SCL			0,622	
	SCR			0,162	
	v			0,800	
	N			5	

Tabelle A.8.: Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA abhängiger Stichproben: Darstellung der p-Werte innerorts bei unterschiedlichen Mengen von Lichtquellen. Bei „keine Lichtquellen“ lagen nicht genug Messpunkte zur Auswertung vor. N ist die Anzahl der für diese UV-Kombination vorliegenden Situationen.

LQ	AV	Gegenvk	Verkehr	Fahrstr.	Leuchtrekl
wenige	Kx	0,319	0,692	1,000	
	HF	0,695	0,568	1,000	
	EOG	0,247	0,324	1,000	
	SCL	0,297	0,295	1,000	
	SCR	0,444	0,741	1,000	
	v	0,050	0,281	1,000	
	N	29	42	42	
mittel	Kx	0,114	0,598	0,995	0,909
	HF	0,234	0,943	0,090	0,919
	EOG	0,076	0,180	0,531	0,521
	SCL	0,268	0,258	0,328	0,392
	SCR	0,875	0,406	0,196	0,253
	v	0,966	0,325	0,749	0,375
	N	58	50	59	71
viele	Kx	0,360	0,549	0,419	0,729
	HF	0,343	0,279	0,258	0,133
	EOG	0,182	0,979	0,179	0,398
	SCL	0,483	0,500	0,939	0,280
	SCR	0,114	0,154	0,979	0,796
	v	0,172	0,812	0,579	0,091
	N	58	68	71	68

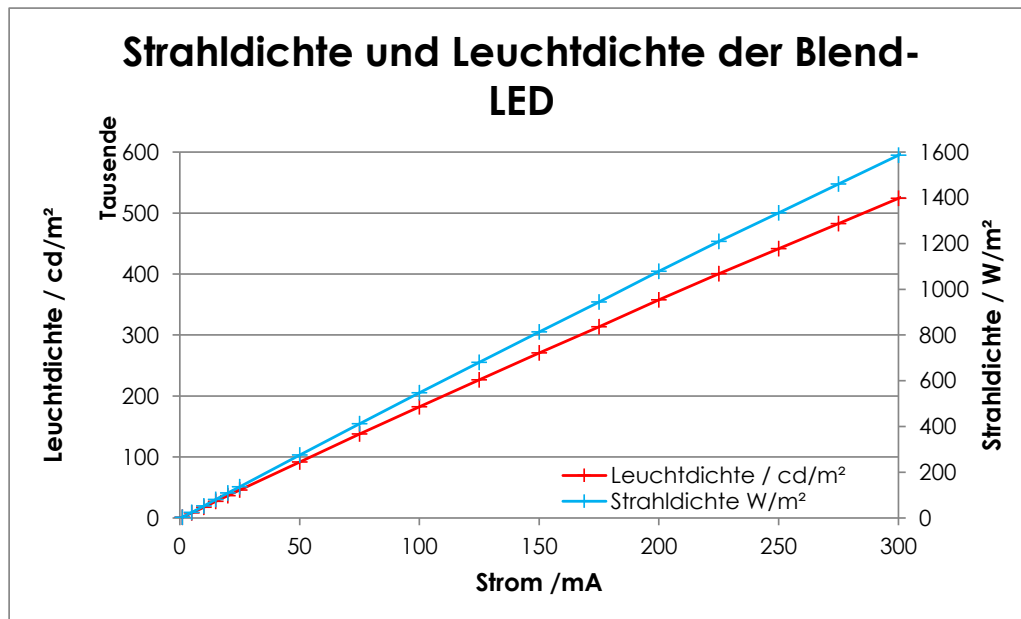


Abbildung A.2.: Output der Blend-LED als Leuchtdichte und Strahldichte je nach Stromeingang.

A.3 Material zur Blendungstestreihe

A.3.1 Eigenschaften der Blendquelle

Die Leuchtdichte verschiedener Typen von KFZ-Scheinwerfern variiert zwischen einigen 10^4 und einigen 10^6 cd/m^2 , nach Ergebnissen von am Fachgebiet Lichttechnik der TU Darmstadt durchgeführten Messungen (Stand 2011). Um diese Bedingungen zu erfüllen, wurde eine *High Power LED* des Typs *Optogan x10* eingesetzt, die eine leuchtende Oberfläche von $1 \times 1 \text{ cm}^2$, eine Farbtemperatur von $CCT = 5000K$ und einen Farbwiedergabeindex von $R_a = 72.0$ (Werte bei einem Strom von $I = 350 \text{ mA}$) besitzt. Bei einem Eingangsstrom zwischen 1 mA und 1.35 A wurden Strahldichten zwischen 3.6 W/m^2 und 6000 W/m^2 erreicht. Diese entsprechen einer Leuchtdichte zwischen $1,21 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$ und $1,93 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ (Abb.A.2, Tabelle A.9).

A.3.2 Ergänzende Daten zur Auswertung: Ergebnisse

Die Tabellen A.10 und A.11 zeigen Mittelwerte und Standardabweichungen der Biodaten beim Blendungsexperiment.

Tabelle A.9.: Daten des Blendreizes

Strom / mA	Strahldichte W/m^2	Leuchtdichte / cd/m^2
1350	6016,900037	1932568,523
1300	5834,365283	1875932,605
1250	5649,140973	1818345,455
1200	5458,886891	1759346,114
1150	5264,392095	1698148,944
1100	5069,719182	1637202,56
1050	4874,992471	1576408,864
1000	4678,587159	1514784,638
950	4478,717536	1451682,668
900	4273,282912	1386841,167
850	4067,684935	1322051,195
800	3855,694389	1254664,222
750	3644,822808	1187425,684
700	3430,199223	1119084,39
650	3211,831291	1049273,673
600	2993,854375	979478,486
550	2767,658918	906736,9871
500	2538,329634	832867,6767
450	2305,519132	757574,3244
400	2072,996301	682307,2978
350	1829,824154	603351,6357
300	1586,62524	524073,374
275	1460,104914	482824,1142
250	1334,48615	441701,3601
225	1208,66915	400444,6795
200	1078,614314	357759,1832
175	943,7105598	313316,8403
150	813,6613235	270744,289
125	680,3134954	226443,6043
100	547,0722684	182323,4856
75	412,2759221	137604,0808
50	274,6488011	91809,42456
25	136,3289913	45658,40331
20	108,8339229	36464,71586
15	81,04043015	27175,58352
10	52,64612766	17662,89977
5	24,88328423	8355,022305
1	3,60560928	1212,544811

Tabelle A.10.: Biodatenmittelwerte

Leuchtdichte	M_HF_rel	HF_min_rel	HF_max_rel	SCL_max_rel	n_SCR_rel
1212,54	0,977	0,76417	1,14196	2,14628	1,80886
17662,90	0,96654	0,75414	1,14774	2,14096	1,51980
45658,40	0,96049	0,73689	1,15747	2,02722	1,63856
91809,42	0,97037	0,7457	1,17144	2,05309	1,65775
182323,49	0,97902	0,75616	1,17358	2,10325	1,66509
832867,68	0,97073	0,75277	1,13789	2,11528	1,92467
1254664,22	0,9727	0,73928	1,17067	2,02598	1,84329
1514784,64	0,964	0,74257	1,15508	2,01838	1,55969
1932568,52	0,96388	0,72646	1,17658	2,09877	1,67899

Tabelle A.11.: Standardabweichung der Biodatenmittelwerte

Leuchtdichte	M_HF_rel	HF_min_rel	HF_max_rel	SCL_max_rel	n_SCR_rel
1212,544811	0,039119811	0,159536395	0,123368888	1,963370217	0,631553007
17662,89977	0,028136321	0,171488868	0,159993176	1,984419525	0,508839116
45658,40331	0,044899511	0,181316846	0,198387909	1,633591542	0,58895305
91809,42456	0,039041564	0,142696133	0,221483666	1,585985503	0,646097147
182323,4856	0,046241203	0,16627513	0,205034662	1,90133703	0,647879401
832867,6767	0,046848483	0,166465538	0,168927008	1,941742704	0,694056483
1254664,222	0,036649781	0,179873514	0,19229958	1,585525756	0,557304586
1514784,638	0,032590854	0,165310889	0,195471125	1,562398166	0,674134863
1932568,523	0,042238047	0,194418006	0,240034368	1,872313109	0,685679608

A.4 Material zur Fahrsimulatorstudie

A.4.1 Instruktionen zur Fahrsimulatoraufgabe

Die folgenden Instruktionen bekamen die Probanden im Verlauf des Experiments angezeigt. Dazu wurden die Instruktionen in grauer Schrift auf schwarzen Grund auf die Leinwand projiziert. So wurde die Adaptation der Probanden auf die dunkle Umgebung im Labor nicht gestört.

Instruktion zur Speichelprobenentnahme

Speichelprobenentnahme

Im Verlauf des Experiments werden Ihnen fünf Speichelproben entnommen. Dazu wird eine Salivette benutzt, wie Sie sie in der Hand halten.

Ablauf der Entnahme:

1. Bitte öffnen Sie den Deckel der Salivette und entnehmen Sie den Wattebausch.
2. Runden Sie den Wattebausch durch einen leichten Knick in der Mitte ab.
3. Signalisieren Sie dem Versuchsleiter, dass Sie bereit sind zur Entnahme.
4. Schlucken Sie nun möglichst stark, um Ihren Mund zu trocknen.
5. Legen Sie den Wattebausch unter Ihre Zunge. Wichtig: Versuchen Sie nicht, absichtlich mehr Speichel zu produzieren!
6. Sobald der Versuchsleiter Sie dazu auffordert, entnehmen Sie bitte den Wattebausch, legen diesen wieder in das Plastikrohr und verschließen die Salivette.

Instruktion Tablet

Tablet

Bitte machen Sie sich nun kurz mit dem Tablet vertraut. Schauen Sie sich dabei besonders die Tastatur an. Um einen ersten Eindruck von der Bedienung zu bekommen, geben Sie bitte Ihre vollständige Adresse ein. Beispiel:

Max Mustermann
Musterstraße 5
60000 Musterstadt

Falls Sie Fragen zur Bedienung haben, wenden Sie sich bitte nun an den Versuchsleiter.

Instruktion zur Nebenaufgabe

Instruktion Tablet-Aufgabe

Stellen Sie sich vor, Sie sind mit dem Auto unterwegs und möchten während der Fahrt am Navigationssystem Ihre Zieladresse ändern.

Dazu sollen die in Papierform vorliegenden Adressen in das Tablet übertragen werden. Als Vorbereitung haben Sie 3 Minuten Zeit, um die vorliegenden Adressen zu übertragen. Bitte tun Sie

dies in einer Ihnen angemessenen Geschwindigkeit. Es ist wichtig, dass Sie auf eine korrekte Schreibweise achten, damit die Ziele gefunden werden können.

Instruktion zum Fahrsimulator

Instruktion Fahrsimulator

Wir werden gleich mit den Durchläufen am Fahrsimulator beginnen. Bitte versetzen Sie sich dazu in die Fahrsituation.

Versuchen Sie, auf der eigenen Fahrspur zu bleiben und Kollisionen mit der Umgebung zu vermeiden. Sie können in einer selbst gewählten Geschwindigkeit fahren und die Beschilderung ignorieren. Sie müssen die Kupplung nicht betätigen, da Sie Ihren linken Fuß möglichst nicht bewegen sollen!

Bevor es losgeht, haben Sie die Möglichkeit, den Fahrsimulator kennen zu lernen. Sehen Sie sich bitte dazu die Pedale, das Lenkrad und die Schaltung an und probieren Sie diese aus. Sagen Sie dem Versuchsleiter Bescheid, sobald Sie so weit sind. Sie können dann vier Probe-Runden fahren, um sich vollständig mit der Bedienung vertraut zu machen.

Bevor Sie weiterlesen, informieren Sie bitte den Versuchsleiter!

Sie werden gleich gebeten, jeweils eine Runde in vier verschiedenen Szenarien zu durchfahren. Beginn und Ende jeder Runde ist das „Tempo 50“-Schild direkt vor der Stadt. Dazwischen werden Sie einen kurzen Fragebogen ausfüllen und eine Speichelprobe abgeben.

Instruktion zum Abschluss

Das Experiment ist nun beendet. Vielen Dank für Ihre Teilnahme! Ich möchte Sie nun über den Hintergrund des Experiments aufklären.

Wir überprüfen die Hypothese, dass die einzelnen Bedingungen, die Sie durchfahren haben, in Ihrer Komplexität verschieden sind. Zu dem Szenario der Proberunden kam noch ein Aspekt dazu – je nach Bedingung Gegenverkehr, höhere Innenraumhelligkeit oder Straßenbeleuchtung. Variablen waren Bäume und Stadt, Gegenverkehr, Innenraumhelligkeit und Straßenbeleuchtung. Es wird davon ausgegangen, dass die Szenarien mit zusätzlicher Variable komplexer sind. Eine höhere Komplexität geht mit erhöhten physiologischen Parametern und höherer subjektiver Beanspruchung einher. Außerdem werden Fahrfehler und Geschwindigkeiten (Kamera) ausgewertet.

Als zweiten Punkt wurde der Einfluss der Zusatzaufgabe untersucht. Es wird angenommen, dass physiologische Parameter, subjektive Belastung und Fahrfehler bzw. Rundenzeiten erhöht sind.

Ferner soll die Hypothese überprüft werden, dass physiologische Parameter und subjektives Stressempfinden positiv korrelieren.

Wenn Sie Ergebnisse der Studie erhalten möchten, tragen Sie sich bitte mit Ihrer Email-Liste ein. Zuletzt möchten wir noch darauf hinweisen, dass die Inhalte des Versuchs nicht weiterverbreitet werden dürfen. Dies gilt insbesondere für die Szenarien und Hypothesen.

Haben Sie noch Fragen?

Noch einmal vielen Dank!

A.5 Material zum Online-Fragebogen

A.5.1 Der Fragebogen

Der Online-Fragebogen zur Komplexität bei Nachtfahrten beinhaltetete die folgenden Fragen:

001 Wie alt sind Sie?

- Auswahl der Jahre in 5er-Schritten, mit Ausnahme 18 – 20, dann 21 – 25 etc.

002 Bitte wählen Sie Ihr Geschlecht!

003 Besitzen Sie einen Führerschein? [Ja / Nein]

004 Seit wann besitzen Sie Ihren Führerschein?

[kein Führerschein / Auswahl des Jahres 1920 - 2014]

101 Wie viele Kilometer fahren Sie ca. pro Jahr?

[unter 10.000 / 10.000 bis 30.000 / über 30.000]

102 Wie oft fahren Sie im Winter vor 8 Uhr? [oft / selten / nie]

103 Wie oft fahren Sie im Winter nach 17 Uhr? [oft / selten / nie]

104 Fahren Sie auf der Autobahn öfter als auf der Landstraße? [Ja / Nein]

105 Fahren Sie auf der Landstraße öfter als in der Stadt? [Ja / Nein]

106 Fahren Sie in der Stadt öfter als auf der Autobahn? [Ja / Nein]

201 Empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit anstrengender als bei Tag? [Ja / Nein]

202 In welcher Umgebung empfinden Sie die Anstrengung beim Autofahren in der Nacht am größten?

- Die Möglichkeiten Autobahn / Landstraße / Stadt mussten in einer Reihe angeordnet werden.

301 Ich empfinde Straßenbeleuchtung in der Stadt als [hilfreich / egal / störend]

302 Ich empfinde Straßenbeleuchtung auf Landstraßen als [hilfreich / egal / störend]

303 Ich empfinde Straßenbeleuchtung auf Autobahnen als [hilfreich / egal / störend]

304 Ich finde Straßenbeleuchtung hilfreich, denn sie hilft mir (mehrere Möglichkeiten)

- a allgemein besser zu sehen,
- b den Straßenverlauf besser verfolgen zu können,
- c die Umgebung der Straße besser zu sehen.
- d Sonstiges: Freitext
- e Nicht zutreffend: Ich finde Straßenbeleuchtung nicht hilfreich.

305 Ich finde Straßenbeleuchtung störend, (mehrere Möglichkeiten)

- a denn sie blendet mich.
- b Sonstiges: Freitext

-
- c Nicht zutreffend: Ich finde Straßenbeleuchtung nicht störend.
- 401 In der Stadt ist es bei Nacht heller als auf Autobahnen und Landstraßen. Die höhere Helligkeit empfinde ich als [angenehm / egal / anstrengend]
- 402 Von den Lichtquellen in der Stadt stören mich am meisten (Kästchen in Reihenfolge anordnen):
- a Beleuchtung und Beschriftung von Geschäften
 - b Leuchtreklamewände (unbewegt)
 - c Tankstellen
 - d Strahler auf Gebäuden
 - e Leuchtreklamewände (animiert)
 - f Nicht zutreffend: Diese Lichtquellen stören mich nicht.
- 403 Wie stark fühlen Sie sich von den genannten Lichtquellen vom Straßenverkehr abgelenkt?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- 404 Am meisten lenken mich diese Lichtquellen in der Stadt ab (Nummern zuordnen oder Kästchen in Reihenfolge bringen):
- a Leuchtreklamewände (unbewegt)
 - b Strahler auf Gebäuden
 - c Beleuchtung und Beschriftung von Geschäften
 - d Leuchtreklamewände (animiert)
 - e Tankstellen
 - f Nicht zutreffend: Diese Lichtquellen lenken mich nicht ab.
- 405 Wie stark werden Sie – auf der Landstraße im Dunkeln – von beleuchteten Tankstellen abgelenkt?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- 406 Wie stark werden Sie – auf der Landstraße im Dunkeln – von beleuchteten Industrieanlagen abgelenkt?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- 407 Wie stark werden Sie – auf der Autobahn im Dunkeln – von beleuchteten Tankstellen abgelenkt?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- 408 Wie stark werden Sie – auf der Autobahn im Dunkeln – von beleuchteten Industrieanlagen abgelenkt?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- 409 Welche Farben stören Sie am meisten bei Lichtquellen im Straßenumfeld (nicht Straßenbeleuchtung, Zuordnung der Ränge 1 bis 3)?
- a Rot
 - b Blau

-
- c Grün
 - d Gelb
 - e Violett
 - f Orange
 - g Weiß
 - h Egal

410 Welche Farben lenken Sie am ehesten vom Straßenverkehr ab (nicht Straßenbeleuchtung, Zuordnung der Ränge 1 bis 3)?

- a Rot
- b Blau
- c Grün
- d Gelb
- e Violett
- f Orange
- g Weiß
- h Egal

411 Welche Lichtquellen stören Sie am meisten?

- a Große, helle Lichtquellen.
- b Kleine, helle Lichtquellen.
- c Große, weniger helle Lichtquellen.
- d Kleine, weniger helle Lichtquellen.
- e Alle stören mich in gleichem Maß.
- f Keine stört mich.

412 Wie sehr lenken Sie diese Eigenschaften von Lichtquellen vom Verkehrsgeschehen ab?

[Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]

- a Die Lichtquelle blinkt.
- b Die Lichtquelle wechselt die Farbe.
- c Die Lichtquelle zeigt einen Film oder einen Lauftext.
- d Die Lichtquelle bewegt sich, verändert ihre Position.

501 Wenn Sie im Dunkeln fahren, wie wünschen Sie sich die Innenraumbeleuchtung Ihres Fahrzeuges? (Vorausgesetzt ist immer, dass die Bedienelemente erkennbar und Zahlen lesbar sind.)

- a Möglichst Dunkel.
- b Mittel.
- c Hell.

-
- d Dunkel mit einzelnen beleuchteten Bereichen.
- f Egal.
- 502 Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit in der Stadt unter den folgenden Bedingungen?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- a Leere Straßen
 - b Geringes bis mittleres Verkehrsaufkommen
 - c Hohes Verkehrsaufkommen
 - d Stau oder stockender Verkehr
- 503 Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Landstraße unter den folgenden Bedingungen?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- a Leere Straßen
 - b Geringes bis mittleres Verkehrsaufkommen
 - c Hohes Verkehrsaufkommen
 - d Stau oder stockender Verkehr
- 504 Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Autobahn unter den folgenden Bedingungen?
- [Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]
- a Leere Straßen Geringes bis mittleres Verkehrsaufkommen
 - b Hohes Verkehrsaufkommen
 - c Stau oder stockender Verkehr
- 505 Wie sehr stören Sie die Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge?
- [Gar nicht / wenig / mittel / stark / extrem]
- a In der Stadt
 - b Auf der Landstraße
 - c Auf der Autobahn
- 506 Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht?
- [Gar nicht / wenig / mittel / stark / extrem]
- a Eine Anwohnerstraße mit geparkten Autos auf beiden Seiten
 - b Eine einspurige Hauptstraße in der Stadt
 - c Eine zweispurige Hauptstraße in der Stadt
 - d Eine dreispurige Hauptstraße in der Stadt
 - e Eine Hauptstraße in der Stadt mit vier oder mehr Spuren in Fahrtrichtung
-

-
- f Geradeausfahren an einer mehrspurigen Kreuzung mit Ampelanlage
 - g Links abbiegen an einer mehrspurigen Kreuzung mit Ampelanlage
 - h Rechts abbiegen an einer mehrspurigen Kreuzung mit Ampelanlage
 - i Durchfahren einer Geschäftsstraße mit beleuchteten Geschäften und regem Fußgängerverkehr
 - j Befahren einer Landstraße mit geradem Straßenverlauf
 - k Befahren einer Landstraße mit Steigungen und Gefälle
 - l Befahren einer kurvigen Landstraße
 - m Befahren einer schmalen Landstraße
 - n Befahren einer breiten Landstraße
 - o Befahren einer Autobahn mit geradem Straßenverlauf
 - p Befahren einer Autobahn mit Steigungen und Gefälle
 - q Befahren einer Autobahn Landstraße
 - r Befahren einer zweispurigen Autobahn
 - s Befahren einer dreispurigen Autobahn
 - t Befahren einer vierspurigen Autobahn
 - u Abbiegen an einem einspurigen Kreisverkehr
 - v Abbiegen an einem mehrspurigen Kreisverkehr

507 In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen?

[Gar nicht / wenig / merklich / stark / extrem]

- a Zufahrt auf einen unbeleuchteten Zebrastreifen
- b Zufahrt auf einen beleuchteten Fußgängerüberweg
- c Ein Fahrrad fährt vor mir her.
- d Ein Fahrrad kommt mir – auf der gegenüberliegenden Fahrbahn – entgegen.
- e Ein Fußgänger steht am rechten Straßenrand.
- f Ein Fußgänger steht am linken Straßenrand.
- g Ein Kind geht rechts auf dem Bürgersteig entlang.
- h Ein Kind geht links auf dem Bürgersteig entlang.
- i Ein PKW kommt aus einer Straße von rechts und wartet dort.
- j Ein PKW kommt aus einer Straße von links und wartet dort.

508 Gibt es weitere Dinge oder Geschehnisse, die Sie beim Autofahren im Dunkeln stören?

– Freitext

509 Gibt es weitere Situationen bei Nachtfahrten, die starken Stress bei Ihnen auslösen?

– Freitext

510 Gibt es weitere Dinge oder Geschehnisse, die Gefahrensituationen verursachen?

– Freitext

511 Hatten Sie jemals einen Unfall während des Fahrens bei Dunkelheit? [Ja / Nein]

512 Wenn ja, wodurch wurde er verursacht?

– Freitext

A.5.2 Ergänzende Daten zur Auswertung

Da die Ergebnisse des ausgewerteten Fragebogens sehr umfangreich sind, werden sie hier angehängt. Vor allem die Zahlenwerte zu den in Abschnitt 5.5 gezeigten Diagrammen sowie die Werte der unterschiedlichen Altersgruppen sind hier zu finden, aber auch zusätzliche Diagramme.

Ergebnisse der Kategorie Fahrleistung

Die Antworten auf die Frage 101 – „Wie viele Kilometer fahren Sie ca. pro Jahr?“, sind in der folgenden Tabelle A.12 zusammengefasst.

Tabelle A.12.: Ergebnisse der Kategorie Fahrleistung – Frage 101: „Wie viele Kilometer fahren Sie ca. pro Jahr?“,

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
< 10.000 km	109	48	46	15
10.000 - 30.000 km	103	24	56	23
> 30.000 km	40	6	25	9
gesamt	252	78	127	47

In den folgenden Tabellen A.13 und A.14 sind die Antworten auf die Fragen 102 – „Wie oft fahren Sie im Winter vor 9 Uhr morgens?“ und 103 – „Wie oft fahren Sie im Winter nach 17 Uhr abends?“ dargestellt.

Tabelle A.13.: Ergebnisse der Kategorie Fahrleistung – Frage 102: „Wie oft fahren Sie im Winter vor 9 Uhr morgens?“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
oft	107	22	61	24
selten	112	41	49	22
nie	35	17	17	1
k.A.	1	1	0	0
gesamt	255	81	127	47

Ergebnisse der Kategorie Dunkelheit

Die Antworten auf die Frage 201 – „Empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit anstrengender als bei Tag?“ sind in der folgenden Tabelle A.15 zusammengefasst.

In der folgenden Tabelle A.16 sind die Antworten auf die Frage 202 – „In welcher Umgebung wird das Fahren bei Dunkelheit als am anstrengendsten empfunden?“ für die verschiedenen Altersgruppen und insgesamt dargestellt (siehe auch Abb. A.3 und A.4).

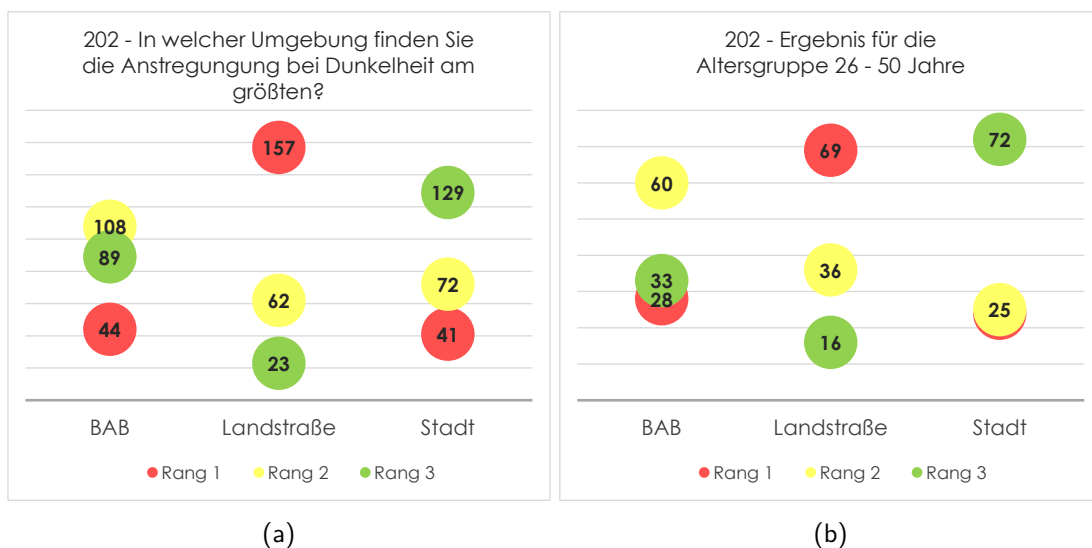


Abbildung A.3.: Ergebnisse der Frage, in welcher Umgebung das Fahren bei Dunkelheit als am anstrengendsten empfunden wird; (a) für alle Teilnehmer, (b) in der Altersgruppe 26 bis 50 Jahre. Es wurden in beiden Fällen 242 gültige Antworten gegeben.

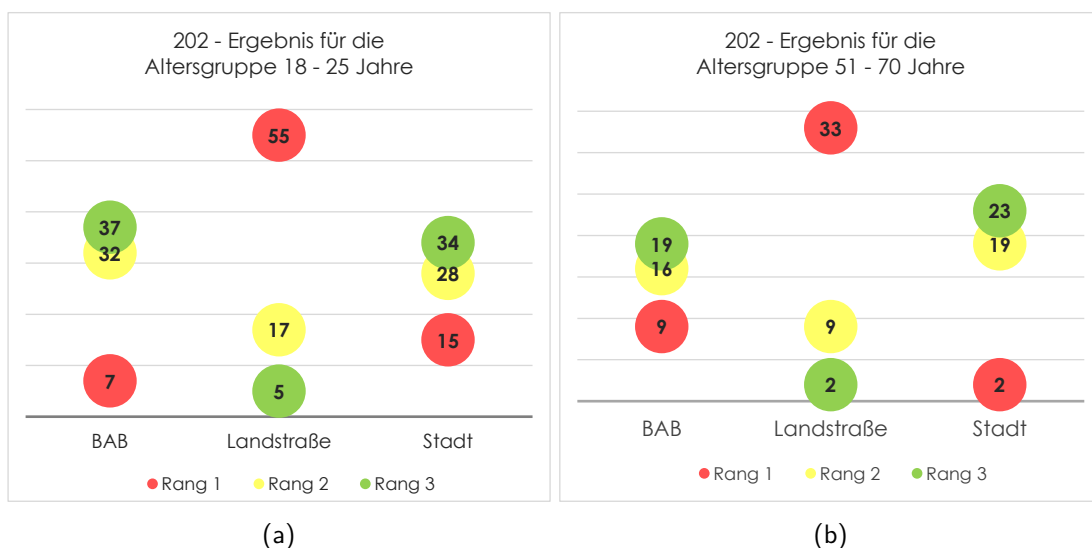


Abbildung A.4.: Ergebnisse der Frage, in welcher Umgebung das Fahren bei Dunkelheit als am anstrengendsten empfunden wird; (a) in der Altersgruppe 18 bis 25 Jahre, (b) in der Altersgruppe 51 bis 70 Jahre. Es wurden in beiden Fällen 242 gültige Antworten gegeben.

Tabelle A.14.: Ergebnisse der Kategorie Fahrleistung – Frage 103: „Wie oft fahren Sie im Winter nach 17 Uhr abends?“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
oft	169	53	90	26
selten	78	25	32	21
nie	7	2	5	0
k.A.	1	1	0	0
gesamt	255	81	127	47

Tabelle A.15.: Ergebnisse der Kategorie Dunkelheit – Frage 201: „Empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit anstrengender als bei Tag?“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
ja	187	47	102	38
nein	56	30	19	7
gesamt	243	77	121	45

Tabelle A.16.: Ergebnisse der Kategorie Dunkelheit – Frage 202: „In welcher Umgebung wird das Fahren bei Dunkelheit als am anstrengendsten empfunden?“

	BAB	Landstraße	Stadt
alle			
Rang 1	44	157	41
Rang 2	108	62	72
Rang 3	89	23	129
18 - 25 Jahre			
Rang 1	7	55	15
Rang 2	32	17	28
Rang 3	37	5	34
26 - 50 Jahre			
Rang 1	28	69	24
Rang 2	60	36	25
Rang 3	33	16	72
51 - 70 Jahre			
Rang 1	9	33	2
Rang 2	16	9	19
Rang 3	19	2	23

Tabelle A.17.: Ergebnisse der Kategorie Straßenbeleuchtung – Fragen 301 bis 303: „Ich empfinde Straßenbeleuchtung als ...“

	BAB	Landstraße	Stadt
alle			
hilfreich	107	144	205
egal	68	51	30
störend	42	26	8
k.A.	26	22	0
18 - 25 Jahre			
hilfreich	25	43	61
egal	24	20	14
störend	18	6	2
k.A.	10	8	0
26 - 50 Jahre			
hilfreich	61	70	108
egal	29	23	7
störend	17	16	6
k.A.	14	12	0
51 - 70 Jahre			
hilfreich	21	31	36
egal	15	8	9
störend	7	4	0
k.A.	2	2	0

Ergebnisse der Kategorie Straßenbeleuchtung

Die Antworten zur Kategorie Straßenbeleuchtung sind in den folgenden Tabellen A.17 bis A.19 zusammengefasst.

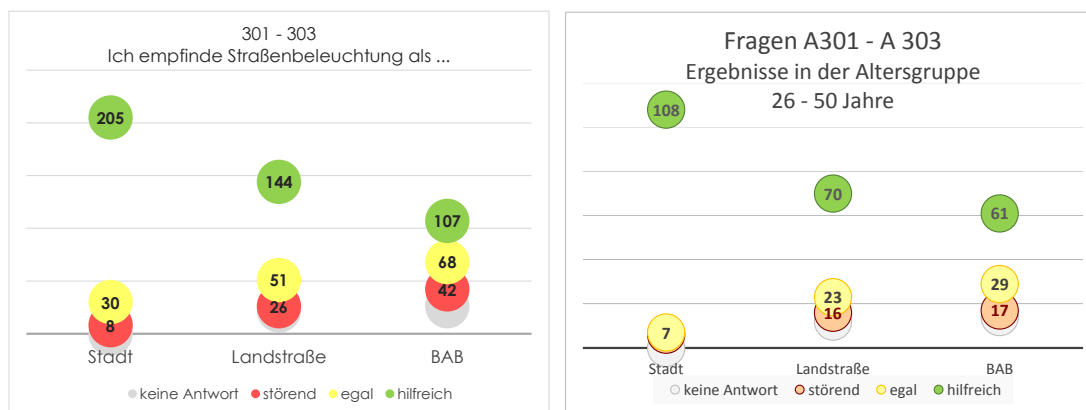


Abbildung A.5.: Anstrengung in verschiedenen Umgebungen

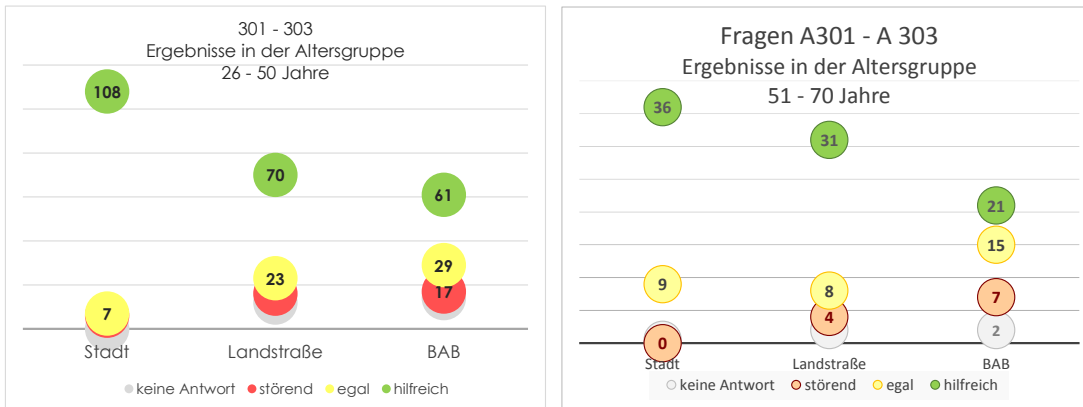


Abbildung A.6.: Fragebogen: Anstrengung in verschiedenen Umgebungen

Tabelle A.18.: Ergebnisse der Kategorie Straßenbeleuchtung – Frage 304 – “Ich finde Straßenbeleuchtung hilfreich, denn sie hilft mir ...“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
besser sehen	166	47	87	32
Straßenverlauf	163	58	80	25
Umgebung	142	49	74	19
sonstiges	17	7	7	3
nicht hilfreich	7	2	4	1
keine Antwort	6	0	2	4
gesamt	501	163	254	84

Tabelle A.19.: Ergebnisse der Kategorie Straßenbeleuchtung – Frage 305 – “Ich finde Straßenbeleuchtung störend, denn ...“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
sie blendet	28	15	12	1
sonstiges	25	12	13	0
nicht störend	108	23	52	33
keine Antwort	78	30	38	10
gesamt	239	80	115	44

Ergebnisse der Kategorie Ablenkung

Die Antworten zur Kategorie Ablenkung sind in den folgenden Tabellen A.20 bis A.34 zusammengefasst.

Tabelle A.20.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 401 – “Die höhere Helligkeit in der Stadt empfinde ich als ...“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
angenehm	151	36	82	33
egal	45	21	16	8
störend	30	13	15	2
keine Antwort	3	1	2	0
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.21.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Fragen 402: „Von den Lichtquellen in der Stadt stören mich am meisten: ...“

	Bel. Gebäude	Leuchtreklamewände	Tankstellen	Strahler	Videowände
alle					
Modalwert	4	2	5	4	1
Median	3	3	5	3	1
Rang 1	20	3	2	36	146
Rang 2	31	91	9	28	44
Rang 3	61	64	24	41	9
Rang 4	62	29	46	59	1
Rang 5	25	12	114	36	4
nicht zugeordnet	30	30	34	29	25
18 - 25 Jahre					
Modalwert	3	2	5	4	1
Median	4	2	5	3	1
Rang 1	12	0	0	11	45
Rang 2	13	30	3	8	13
Rang 3	20	20	10	11	6
Rang 4	14	13	14	25	0
Rang 5	8	4	36	11	3
26 - 50 Jahre					
Modalwert	4	2	5	4	1
Median	3	3	5	3	1
Rang 1	6	3	1	18	72
Rang 2	16	38	4	16	23
Rang 3	26	33	12	20	2
Rang 4	36	12	20	25	0
Rang 5	10	7	56	17	1
51 - 70 Jahre					
Modalwert	3	2	5	3	1
Median	3,5	2	5	3	1
Rang 1	2	0	1	7	29
Rang 2	2	23	2	4	8
Rang 3	15	11	2	10	1
Rang 4	12	4	12	9	1
Rang 5	7	1	22	8	0

Tabelle A.22.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 403 – “Wie sehr fühlen Sie sich von den oben genannten Lichtquellen vom Straßenverkehr abgelenkt?”

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	34	10	17	7
wenig	103	32	51	20
merklich	77	25	40	12
stark	14	4	7	3
extrem	1	0	0	1
k.A.	0	0	0	0
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.23.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Fragen 404: „Am meisten lenken mich diese Lichtquellen in der Stadt ab: ...“

	Bel. Gebäude	Leuchtreklamewände	Tankstellen	Strahler	Videowände
alle					
Modalwert	3	2	5	4	1
Median	3	2	5	4	1
Rang 1	18	6	2	20	163
Rang 2	31	97	8	30	37
Rang 3	64	63	24	39	7
Rang 4	60	24	54	56	1
Rang 5	25	8	103	52	0
nicht zugeordnet	31	31	38	32	21
18 - 25 Jahre					
Modalwert	2	5	3	1	5
Median	2	4	3	1	5
Rang 1	2	7	9	51	0
Rang 2	35	3	14	13	3
Rang 3	19	9	24	5	8
Rang 4	8	22	14	0	20
Rang 5	3	24	4	0	33
26 - 50 Jahre					
Modalwert	2	4	4	1	5
Median	2	3,5	3	1	5
Rang 1	3	10	7	81	1
Rang 2	45	18	14	18	3
Rang 3	31	20	29	2	13
Rang 4	12	27	31	0	24
Rang 5	3	21	15	0	50
51 - 70 Jahre					
Modalwert	2	3	4	1	5
Median	3	3	4	1	5
Rang 1	1	3	2	31	1
Rang 2	17	9	3	6	2
Rang 3	13	10	11	0	3
Rang 4	4	7	15	1	10
Rang 5	2	7	6	0	20

Tabelle A.24.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 405 – “Wie stark werden Sie — auf der Landstraße im Dunkeln — von beleuchteten Tankstellen abgelenkt? “

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	84	26	41	17
wenig	106	34	51	21
merklich	31	11	16	4
stark	5	0	4	1
extrem	1	0	1	0
k.A.	2	0	2	0
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.25.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 406 – “Wie stark werden Sie — auf der Landstraße im Dunkeln — von beleuchteten Industrieanlagen abgelenkt? “

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	57	16	32	9
wenig	127	43	60	24
merklich	37	8	19	10
stark	5	1	4	0
extrem	0	0	0	0
k.A.	3	3	0	0
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.26.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 407 – “Wie stark werden Sie — auf der Autobahn im Dunkeln — von beleuchteten Tankstellen abgelenkt? “

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	112	33	55	24
wenig	95	30	47	18
merklich	17	6	11	0
stark	4	1	2	1
extrem	0	0	0	0
k.A.	1	1	0	0
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.27.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 408 – “Wie stark werden Sie — auf der Autobahn im Dunkeln — von beleuchteten Industrieanlagen abgelenkt? “

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	88	28	44	16
wenig	115	35	55	25
merklich	23	7	14	2
stark	2	0	2	0
extrem	0	0	0	0
k.A.	1	1	0	0
gesamt	229	71	115	43

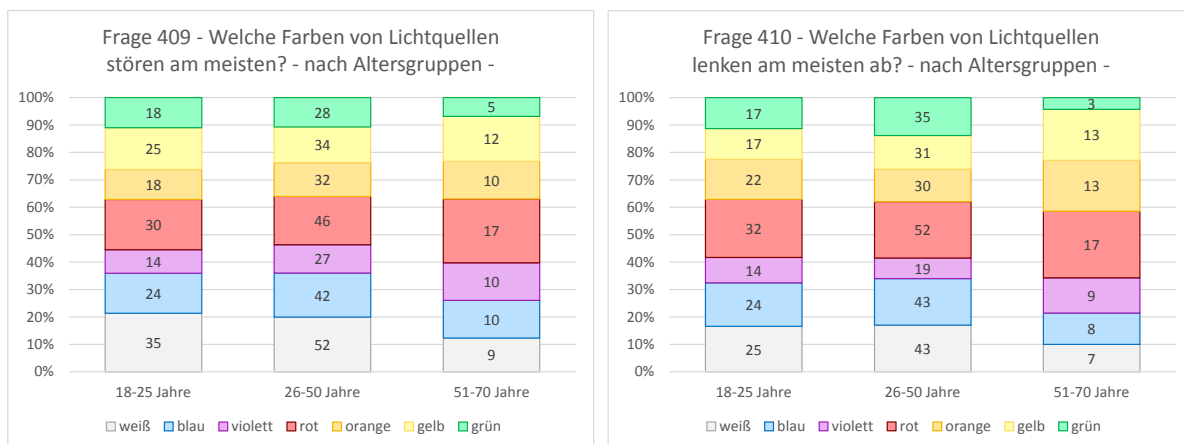


Abbildung A.7.: Fragebogen: Ablenkung auf der Autobahn. Es wurden in beiden Fällen von 178 Personen gültige Antworten gegeben.

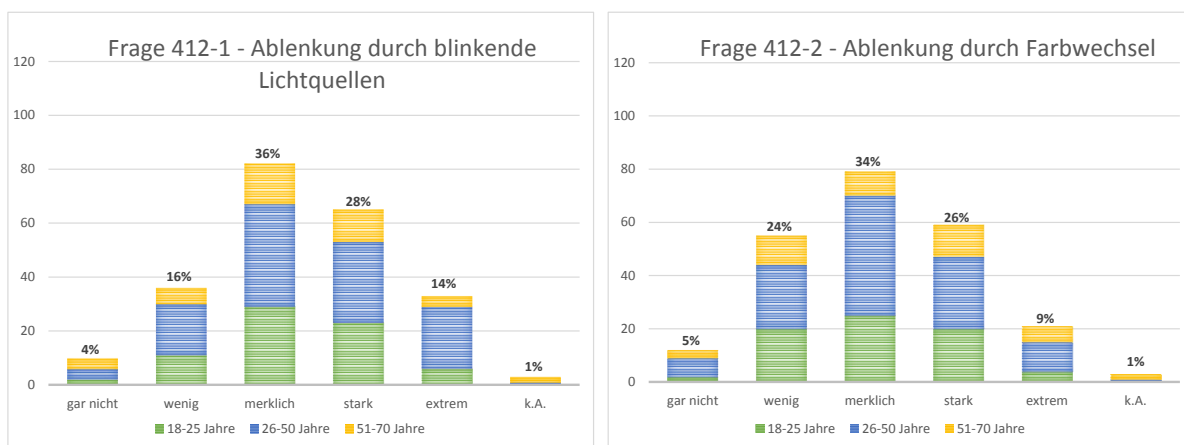


Abbildung A.8.: Fragebogen: Ablenkung durch veränderliche Lichtquellen. Es wurden in beiden Fällen von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

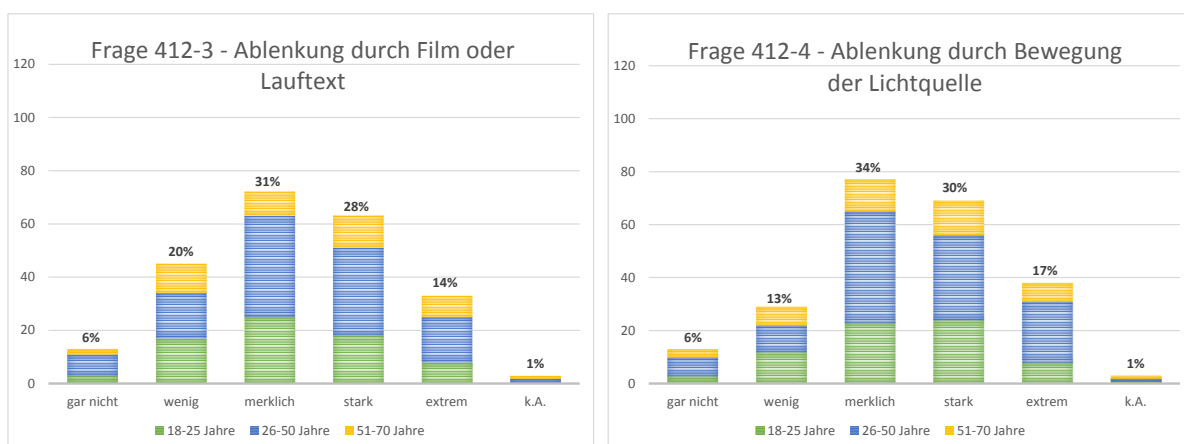


Abbildung A.9.: Fragebogen: Ablenkung durch veränderliche Lichtquellen. Es wurden in beiden Fällen von 229 Personen gültige Antworten gegeben.

Tabelle A.28.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 409: „Welche Farben stören Sie am meisten bei Lichtquellen im Straßenumfeld (Straßenbeleuchtung ausgenommen)?“

Rang	rot	blau	grün	gelb	violett	orange	weiß	gesamt
alle								
Rang 1	46	33	8	17	10	9	55	178
Rang 2	24	27	19	31	25	23	18	167
Rang 3	23	16	24	23	16	28	23	153
gesamt Rang 1 - 3	93	76	51	71	51	60	96	
18 - 25 Jahre								
Rang 1	10	10	4	6	3	3	24	60
Rang 2	10	9	7	9	7	6	6	54
Rang 3	10	5	7	10	4	9	5	50
26 - 50 Jahre								
Rang 1	23	20	4	6	5	6	28	92
Rang 2	11	13	10	16	16	11	11	88
Rang 3	12	9	14	12	6	15	13	81
51 - 70 Jahre								
Rang 1	13	3	0	5	2	0	3	26
Rang 2	3	5	2	6	2	6	1	25
Rang 3	1	2	3	1	6	4	5	22

Tabelle A.29.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 410: „Welche Farben lenken Sie am meisten bei Lichtquellen im Straßenumfeld ab (Straßenbeleuchtung ausgenommen)?“

Rang	rot	blau	grün	gelb	violett	orange	weiß	gesamt
alle								
Rang 1	58	36	9	12	9	8	40	172
Rang 2	23	26	19	31	19	27	15	160
Rang 3	20	13	27	18	14	30	20	142
gesamt Rang 1 - 3	101	75	55	61	42	65	75	
18 - 25 Jahre								
Rang 1	18	14	4	4	1	2	13	56
Rang 2	10	6	4	9	7	12	4	52
Rang 3	4	4	9	4	6	8	8	43
26 - 50 Jahre								
Rang 1	25	20	5	4	6	6	24	90
Rang 2	13	16	15	16	9	7	8	84
Rang 3	14	7	15	11	4	17	11	79
51 - 70 Jahre								
Rang 1	15	2	0	4	2	0	3	26
Rang 2	0	4	0	6	3	8	3	24
Rang 3	2	2	3	3	4	5	1	20

Tabelle A.30.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 411 – “Welche Lichtquellen stören sie am meisten?”

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
groß, hell	136	39	70	27
groß, weniger hell	3	0	1	2
klein, weniger hell	3	2	1	0
klein, hell	54	21	25	8
alle gleich	10	5	4	1
keine	18	3	12	3
keine Antwort	5	1	2	2
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.31.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 412 – “Wie sehr lenken Sie diese Eigenschaften von Lichtquellen vom Verkehrsgeschehen ab? (a) Die Lichtquelle blinkt. “

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	10	2	4	4
wenig	36	11	19	6
merklich	82	29	38	15
stark	65	23	30	12
extrem	33	6	23	4
k.A.	3	0	1	2
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.32.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 412 – “Wie sehr lenken Sie diese Eigenschaften von Lichtquellen vom Verkehrsgeschehen ab? (b) Die Lichtquelle wechselt die Farbe.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	12	2	7	3
wenig	55	20	24	11
merklich	79	25	45	9
stark	59	20	27	12
extrem	21	4	11	6
k.A.	3	0	1	2
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.33.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 412 – “Wie sehr lenken Sie diese Eigenschaften von Lichtquellen vom Verkehrsgeschehen ab? (c) Die Lichtquelle zeigt einen Film oder einen Lauftext.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	13	3	8	2
wenig	45	17	17	11
merklich	72	25	38	9
stark	63	18	33	12
extrem	33	8	17	8
k.A.	3	0	2	1
gesamt	229	71	115	43

Tabelle A.34.: Ergebnisse der Kategorie Ablenkung – Frage 412 – “Wie sehr lenken Sie diese Eigenschaften von Lichtquellen vom Verkehrsgeschehen ab? (d) Die Lichtquelle bewegt sich, verändert ihre Position.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	13	3	7	3
wenig	29	12	10	7
merklich	77	23	42	12
stark	69	24	32	13
extrem	38	8	23	7
k.A.	3	1	1	1
gesamt	229	71	115	43

Ergebnisse der Kategorie Sonstiges

Die Antworten zur Kategorie Straßenbeleuchtung sind in den folgenden Tabellen A.35 bis A.81 zusammengefasst.

Tabelle A.35.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 501 – “Wenn Sie im Dunkeln fahren, wie wünschen Sie sich die Innenraumbeleuchtung Ihres Fahrzeuges? (Vorausgesetzt ist immer, dass die Bedienelemente erkennbar und Zahlen lesbar sind.)“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
möglichst dunkel	106	35	47	24
mittel	38	11	19	8
hell	9	3	6	0
dunkel, helle Bereiche	66	19	37	10
egal	4	1	2	1
k.A.	3	1	2	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.36.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 502 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit in der Stadt unter den folgenden Bedingungen? – (a) Leere Straßen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	146	48	71	27
wenig	68	21	34	13
merklich	10	1	7	2
stark	1	0	0	1
extrem	0	0	0	0
k.A.	1	0	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.37.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 502 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit in der Stadt unter den folgenden Bedingungen? – (b) Wenig Verkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	72	22	36	14
wenig	106	36	50	20
merklich	40	9	23	8
stark	7	3	3	1
extrem	0	0	0	0
k.A.	1	0	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.38.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 502 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit in der Stadt unter den folgenden Bedingungen? – (c) Viel Verkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	23	5	14	4
wenig	54	16	27	11
merklich	84	26	42	16
stark	52	21	23	8
extrem	12	2	6	4
k.A.	1	0	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.39.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 502 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit in der Stadt unter den folgenden Bedingungen? – (d) Stau.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	42	11	23	8
wenig	73	22	36	15
merklich	54	17	28	9
stark	42	13	22	7
extrem	14	7	3	4
k.A.	1	0	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.40.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 503 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Landstraße unter den folgenden Bedingungen? – (a) Leere Straßen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	93	36	42	15
wenig	77	19	40	18
merklich	34	12	16	6
stark	15	1	10	4
extrem	5	1	4	0
k.A.	2	1	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.41.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 503 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Landstraße unter den folgenden Bedingungen? – (b) Wenig Verkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	49	14	23	12
wenig	111	40	50	21
merklich	47	10	31	6
stark	16	5	7	4
extrem	1	0	1	0
k.A.	2	1	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.42.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 503 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Landstraße unter den folgenden Bedingungen? – (c) Viel Verkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	19	5	11	3
wenig	60	19	29	12
merklich	85	29	44	12
stark	40	10	22	8
extrem	19	5	6	8
k.A.	3	2	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.43.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 503 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Landstraße unter den folgenden Bedingungen? – (d) Stau.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	37	13	17	7
wenig	88	23	48	17
merklich	51	18	25	8
stark	32	9	17	6
extrem	15	5	5	5
k.A.	3	2	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.44.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 504 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Autobahn unter den folgenden Bedingungen? – (a) Leere Straßen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	122	48	52	22
wenig	67	16	35	16
merklich	25	3	19	3
stark	8	1	5	2
extrem	2	1	1	0
k.A.	2	1	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.45.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 504 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Autobahn unter den folgenden Bedingungen? – (b) Wenig Verkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	82	25	39	18
wenig	94	39	38	17
merklich	34	4	25	5
stark	13	1	9	3
extrem	1	0	1	0
k.A.	2	1	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.46.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 504 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Autobahn unter den folgenden Bedingungen? – (c) Viel Verkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	23	8	12	3
wenig	65	22	28	15
merklich	75	24	38	13
stark	44	11	26	7
extrem	17	4	8	5
k.A.	2	1	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.47.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 504 – “Wie anstrengend empfinden Sie das Fahren bei Dunkelheit auf der Autobahn unter den folgenden Bedingungen? – (d) Stau.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	39	11	21	7
wenig	70	22	37	11
merklich	57	15	32	10
stark	40	15	15	10
extrem	18	6	7	5
k.A.	2	1	1	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.48.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 505 – “Wie sehr stören sie die Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge in den folgenden Situationen? – (a) In der Stadt.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	50	12	27	11
wenig	116	43	54	19
mittel	39	7	21	11
stark	14	4	8	2
extrem	7	4	3	0
k.A.	0	0	0	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.49.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 505 – “Wie sehr stören sie die Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge in den folgenden Situationen? – (b) Auf der Landstraße.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	2	0	2	0
wenig	21	5	8	8
mittel	70	17	38	15
stark	79	27	41	11
extrem	53	20	24	9
k.A.	1	1	0	0
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.50.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 505 – “Wie sehr stören sie die Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge in den folgenden Situationen? – (c) Auf der Autobahn.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	38	15	14	9
wenig	65	24	27	14
mittel	68	15	44	9
stark	34	9	18	7
extrem	18	6	9	3
k.A.	3	1	1	1
gesamt	226	70	113	43

Tabelle A.51.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (a) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Auf einstreifigen Hauptstraßen in der Stadt.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	54	24	23	7
wenig	111	28	57	26
mittel	44	13	23	8
stark	2	0	2	0
extrem	1	0	1	0
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.52.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (a) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Auf zweistreifigen Hauptstraßen in der Stadt.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	56	20	23	13
wenig	86	31	38	17
mittel	56	11	35	10
stark	12	2	10	0
extrem	2	1	0	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.53.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (a) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (3) Auf dreistreifigen Hauptstraßen in der Stadt.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	44	17	14	13
wenig	77	25	38	14
mittel	56	15	31	10
stark	30	7	21	2
extrem	3	0	2	1
k.A.	7	3	3	1
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.54.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (a) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (4) Auf vier- und mehrstreifigen Hauptstraßen in der Stadt.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	42	17	13	12
wenig	57	19	29	9
mittel	56	14	29	13
stark	35	10	21	4
extrem	16	3	11	2
k.A.	11	4	6	1
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.55.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (b) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Beanspruchung beim Geradeausfahren auf einer mehrstreifigen Kreuzung mit LSA.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	71	28	26	17
wenig	96	25	51	20
mittel	35	9	24	2
stark	8	2	4	2
extrem	1	1	0	0
k.A.	6	2	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.56.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (b) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Beanspruchung beim Linksabbiegen auf einer mehrstreifigen Kreuzung mit LSA.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	34	10	15	9
wenig	81	29	40	12
mittel	73	20	36	17
stark	21	6	13	2
extrem	3	0	2	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.57.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (b) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (3) Beanspruchung beim Geradeausfahren auf einer mehrstreifigen Kreuzung mit LSA.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	67	26	26	15
wenig	96	26	52	18
mittel	39	11	23	5
stark	9	2	5	2
extrem	1	0	0	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.58.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (c) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Beanspruchung in einer Anwohnerstraße mit parkenden Autos auf beiden Seiten.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	33	9	19	5
wenig	84	28	38	18
mittel	77	21	42	14
stark	18	7	7	4
extrem	0	0	0	0
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.59.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (c) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Beanspruchung beim Durchfahren einer Geschäftsstraße mit beleuchteten Geschäften und regem Fußgängerverkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	17	5	9	3
wenig	36	10	17	9
mittel	99	34	48	17
stark	50	12	26	12
extrem	10	4	6	0
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.60.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (d) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Auf Landstraßen mit geradem Verlauf.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	86	31	39	16
wenig	96	28	48	20
mittel	20	4	13	3
stark	9	1	6	2
extrem	1	1	0	0
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.61.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (d) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Auf Landstraßen mit Steigung bzw. Gefälle.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	45	15	21	9
wenig	82	25	38	19
mittel	57	16	32	9
stark	24	8	13	3
extrem	4	1	2	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.62.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (d) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (3) Auf Landstraßen mit kurvigem Verlauf.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	14	6	5	3
wenig	72	23	33	16
mittel	63	17	33	13
stark	50	16	26	8
extrem	13	3	9	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.63.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (e) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Auf Landstraßen mit schmaler Fahrbahn.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	7	3	2	2
wenig	54	19	24	11
mittel	86	24	44	18
stark	47	15	25	7
extrem	18	4	11	3
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.64.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (e) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Auf Landstraßen mit breiter Fahrbahn.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	72	28	29	15
wenig	101	30	53	18
mittel	28	7	17	4
stark	10	0	6	4
extrem	1	0	1	0
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.65.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (f) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Auf Autobahnen mit geradem Verlauf.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	107	44	45	18
wenig	81	20	42	19
mittel	19	1	16	2
stark	4	0	3	1
extrem	1	0	0	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.66.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (f) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Auf Autobahnen mit Steigung bzw. Gefälle.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	81	30	34	17
wenig	82	26	41	15
mittel	39	8	24	7
stark	9	1	7	1
extrem	1	0	0	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.67.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (f) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (3) Auf Autobahnen mit kurvigem Verlauf.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	48	19	16	13
wenig	80	32	39	9
mittel	56	11	32	13
stark	22	3	14	5
extrem	6	0	5	1
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.68.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (g) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Auf zweistreifigen Autobahnen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	66	25	27	14
wenig	95	30	47	18
mittel	38	9	23	6
stark	9	0	7	2
extrem	3	1	1	1
k.A.	6	2	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.69.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (g) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Auf dreistreifigen Autobahnen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	82	31	34	17
wenig	75	24	36	15
mittel	39	9	24	6
stark	10	1	7	2
extrem	5	0	4	1
k.A.	6	2	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.70.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (1) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (1) Beim Abbiegen an einem einstreifigen Kreisverkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	86	27	44	15
wenig	83	27	40	16
mittel	35	10	17	8
stark	8	1	5	2
extrem	0	0	0	0
k.A.	5	2	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.71.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 506 (h) – “Wie stark werden Sie – als PKW-Fahrer in der Nacht – durch diese Situationen beansprucht? – (2) Beim Abbiegen an einem einstreifigen Kreisverkehr.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	18	6	6	6
wenig	51	15	26	10
mittel	92	28	45	19
stark	38	11	21	6
extrem	9	1	8	0
k.A.	9	6	3	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.72.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (a) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (1) Zufahrt auf einen unbeleuchteten Zebrasreifen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	8	1	5	2
wenig	47	18	21	8
mittel	97	31	49	17
stark	50	15	25	10
extrem	10	1	5	4
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.73.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (a) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (2) Zufahrt auf einen unbeleuchteten Zebrasreifen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	10	1	5	4
wenig	68	29	27	12
mittel	102	24	60	18
stark	23	8	10	5
extrem	8	3	3	2
k.A.	6	2	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.74.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (b) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (1) Ein Fahrrad fährt vor mir her.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	3	1	1	1
wenig	18	4	9	5
mittel	94	31	52	11
stark	82	26	37	19
extrem	15	4	6	5
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.75.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (b) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (2) Ein Fahrrad kommt mir – auf der gegenüberliegenden Fahrbahn – entgegen.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	39	13	18	8
wenig	98	33	47	18
mittel	53	15	26	12
stark	18	5	11	2
extrem	4	0	3	1
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.76.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (c) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (1) Ein Fußgänger steht am rechten Straßenrand.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	9	3	3	3
wenig	34	8	24	2
mittel	105	29	53	23
stark	48	23	19	6
extrem	16	3	6	7
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.77.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (c) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (2) Ein Fußgänger steht am linken Straßenrand.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	40	12	23	5
wenig	90	28	45	17
mittel	56	21	23	12
stark	22	4	13	5
extrem	4	1	1	2
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.78.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (d) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (1) Ein Kind geht links auf dem Bürgersteig entlang.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	16	7	7	2
wenig	74	19	41	14
mittel	71	21	35	15
stark	39	12	19	8
extrem	12	7	3	2
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.79.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (d) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (2) Ein Kind geht rechts auf dem Bürgersteig entlang.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	6	2	1	3
wenig	22	5	16	1
mittel	67	20	34	13
stark	78	20	44	14
extrem	39	19	10	10
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.80.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (e) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (1) Ein PKW kommt aus einer Straße von rechts und wartet dort.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	10	5	2	3
wenig	47	8	30	9
mittel	86	28	41	17
stark	62	24	29	9
extrem	7	1	3	3
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Tabelle A.81.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 507 (e) – “In welchem Maße erhöht sich Ihre Aufmerksamkeit in den folgenden Situationen? – (2) Ein PKW kommt aus einer Straße von links und wartet dort.“

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
gar nicht	19	9	6	4
wenig	108	31	55	22
mittel	65	22	34	9
stark	18	3	10	5
extrem	2	1	0	1
k.A.	5	1	4	0
gesamt	217	67	109	41

Bei den Fragen 508 bis 510 wurde um eine freie Texteingabe gebeten. Die Antworten werden im Folgenden aufgeführt; Rechtschreibfehler wurden korrigiert.

Antworten auf die Frage 508: „Gibt es weitere Dinge, die Sie beim Autofahren im Dunkeln stören?“:

- Altersgruppe 18 bis 25 Jahre:
 - Alte Fahrbahnmarkierungen, die Nachts so gut wie gar nicht reflektieren.
 - Alte Xenonlichter und LKW die knapp hinter einem fahren.
 - Autos mit zu grellen Scheinwerfern.
 - Blendende Xenon-Scheinwerfer, die wegen Steigung/Gefälle blenden.
 - Blendender Gegenverkehr; fehlendes Kurvenlicht im eigenen Fahrzeug; Unmengen an Lichtquellen in Städten, die von eigentlich relevanten Lichtzeichen (Ampeln etc.) ablenken.
 - Blendung durch Gegenverkehr.
 - Das zu späte Abblenden einiger Autofahrer und falsch eingestellte Scheinwerfer, vor allem auf Landstraßen und Autobahnen.
 - Die blöden neuen Scheinwerfer, die Ihr entwickelt!
 - Die Höheneinstellung vom entgegenkommenden Autos ist falsch eingestellt, so dass das Licht wie Fernlicht empfunden wird. Und das bei neuen Autos stark weiße Licht stört extrem.
 - Dunkel gekleidete Leute, die gedankenlos auf die Straße latschen. Am besten noch an einer LZA.
 - Externe Navis, Bordbildschirme in der Mittelkonsole oft nicht in der Helligkeit regelbar (zu hell), viele Autofahrer in der Mitte auf dreispuriger AB trotz Rechtsfahrgebot.
 - Extrem helle/blendende Scheinwerfer.
 - Gegenverkehr an einer Hügelkuppe (Scheinwerfer blenden stark).
 - Grelle Blinker bei Baustellen auf der Autobahn.
 - Grundsätzlich alles, was blendet. U.a. eine entsprechende Windschutzscheibe.
 - Helle Bildschirmbeleuchtung des Navigationsgerätes/Radios; Blendung durch Reflexion der Scheinwerfer anderer Fahrzeuge in den Außenspiegeln.
 - Kratzer / Schmutz auf der Frontscheibe.
 - Leute, die nicht in der Lage sind, ihr Licht korrekt einzustellen.
 - Licht des Radios.
 - monotone Strecken
 - Nässe.
 - Nein. [Zwei Nennungen.]
 - Orange Straßenbeleuchtung.
 - PKW ohne Kurvenlicht.
 - Reflektierende (weil nasse) Straßen -> Fahrbahnmarkierung schlecht erkennbar.
 - Reflexionen.
 - Reflektoren auf Landstraßen im Wald.
 - Regen in Verbindung mit viel Beleuchtung.
 - Scheinwerfer in Fahrtrichtung hinter mir fahrender Fahrzeuge zu hell/unterschiedlich hell weil defekt; nasse Fahrbahn.
 - Tiere auf der Landstraße.
 - Tiere auf Landstraßen.

-
- Weißes Scheinwerferlicht.
 - Wenn sich nach Regen alle Lichter auf der Straße spiegeln. Straßenmarkierungen werden schwer erkennbar und auch sonst lenken mich diese Spiegelungen mehr ab als die Lichter an sich.
 - Xenon-Scheinwerfer entgegenkommender Autos.
 - Zu helle Autoscheinwerfer.
 - Zu hoch eingestellte Scheinwerfer des Gegenverkehrs UND des Verkehrs hinter mir.
 - Altersgruppe 26 bis 50 Jahre:
 - Blendung durch den Verkehr von hinten im Außenspiegel
 - Blendung, schlecht eingestellte Scheinwerfer, Scheinwerfer der SUVs, Autos mit nur einem Scheinwerfer.
 - Blinkende Baustellen/Fahrbahnänderungen.
 - Blinkende LED Reklamen - dann lange nichts ;)
 - Das Licht der entgegenkommenden Autos.
 - Entgegenkommende Fahrzeuge.
 - Entgegenkommende Nebelscheinwerfer und Nebelschlussleuchte, trotz guten Wetters.
 - Falsch eingestellte Scheinwerfer.
 - Falsch eingestellte Scheinwerfer, Nebelschlussleuchte beim vorausfahrenden Auto.
 - Fehlerhafte Nutzung von Fernlicht und Nebelschlussleuchte.
 - Fernlicht des Gegenverkehrs.
 - Fernlicht entgegenkommenden Verkehrs, Fernlicht folgenden Verkehrs.
 - Zu langer Frage- / Antwort-Bogen... Kein Bock mehr!
 - Gegenverkehr auf Landstraßen.
 - Gegenverkehr mit verstellten Scheinwerfern.
 - Hauptsächlich extrem helles, blendendes Xenon-Licht; Fernlichter die zu spät ausgeschaltet werden; relativ kurze Strecken an denen rechts entlang geleuchtet wird bspw. im Dunkeln auf Bundes-/Landstraßen.
 - Kaltes Scheinwerferlicht entgegenkommender Fahrzeuge, die durch ihre Intensität 'Fernlicht' suggerieren.
 - Kaputte Straßen – plötzliche Schlaglöcher, die man im Dunkeln später erkennt.
 - LED-Leuchten, Xenon/LED-Scheinwerfer.
 - LED- und Xenon-Licht hinterher fahrender Wagen der Premium-Klasse (extrem hell / störend).
 - Mögliche „Nachtblindheit“? Kleine, helle Lichter wie rote Rücklichter der Autos werden zu großen Sternen. Außerdem blaue Leuchtreklame, die stark streut und unscharf ist.
 - Nässe.
 - Nein. [Drei Nennungen.]
 - Regen. [Vier Nennungen.]
 - Regen und Gegenverkehr empfinde ich als sehr störend!
 - Scheinwerferlicht des hinter mir fahrenden Autos (besonders durch Blendung im Rück- und Außenspiegel).
 - Schlecht eingestellte Scheinwerfer (eigene und Gegenverkehr).
 - Schlechte Fahrbahnmarkierung.

-
- Schlechte Regulierbarkeit der Innenraumbeleuchtung (meist nur globale Regulierung).
 - Schlechte Sicht am Straßenrand (Tiere etc.).
 - Schnelle Fahrzeuge.
 - Starker Regen.
 - Tiere.
 - Tiere, welche am unbeleuchteten Fahrbahnrand nicht sichtbar sind.
 - UFOs.
 - undefinierte Lichtquelle, Bewegung.
 - Waldstücke / Tiere.
 - Wenn es regnet und die Kennzeichnung der Straße nicht mehr so gut sichtbar ist.
 - Wenn hinter mir ein Kfz fährt, dessen Scheinwerfer nicht richtig eingestellt sind und mich blenden. Analoges gilt bei entgegenkommenden Kfz auf Landstraßen und Autobahnen.
 - Wenn man die Abmessungen von LKW nicht richtig erkennen kann.
 - Wenn man die Straßenmarkierungen nicht erkennen kann.
 - Xenon-Scheinwerfer.
 - Xenon-Licht im Rückspiegel oder bei entgegenkommenden Fahrzeugen.
 - Zu grelle LED-Rücklichter von Audi.
 - Zu hoch eingestellte Scheinwerfer von entgegenkommenden oder hinter mir fahrenden Fahrzeugen.
 - Altersgruppe 51 bis 70 Jahre:
 - Aggressive Fahrer, Fahrzeuge mit schlechter Beleuchtung oder falsch eingestellten Scheinwerfern.
 - Ampel.
 - Aufgeblendete entgegenkommende Fahrzeuge.
 - Blaulicht von Polizei und Feuerwehr im Einsatz (fahrend oder auch stehend); durch den Blitzeffekt wirken die Lichtquellen wesentlich stressiger, da das Auge nicht so schnell dem hell/dunkel-Wechsel folgen kann.
 - Blendende Nebelschlussleuchten, die vorschriftswidrig bei „normalen“ Sichtverhältnissen eingeschaltet werden.
 - Blendung durch den Gegenverkehr.
 - Die extrem hellen, modernen Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge.
 - Die neuen Scheinwerfer bei BMW, Audi, Mercedes usw.
 - Extrem kleine, aber blendende Scheinwerfer.
 - Falsch eingestellte Scheinwerfer bei entgegenkommenden Fahrzeugen, dunkel gekleidete Fußgänger.
 - Keine.
 - Leuchtreklame in fremden Städten.
 - Nässe.
 - Nicht oder zu spätes Abblenden der entgegenkommenden Autos.
 - Nichts, was mit Beleuchtung zusammenhängt.
 - Regen. [Drei Nennungen.]
 - Regen, Nebel.
 - Regen, Schnee.

-
- Schlecht beleuchtete Straßenschilder.
 - Schlechte Autoscheinwerfer.
 - Schmutzige Scheiben.
 - Wechselnde Beleuchtung/Helligkeit.
 - Wenig Info über Situation außerhalb der Fahrbahn.
 - Wilde Tiere.

Antworten auf die Frage 509: „Gibt es weitere Situationen bei Nachtfahrten, die starken Stress bei Ihnen auslösen?“:

- Altersgruppe 18 bis 25 Jahre:
 - Auftauchen von Wild
 - Fahrzeuge, die weit schneller fahren, als es die Geschwindigkeitsbegrenzung zulässt.
 - Hohes Verkehrsaufkommen.
 - Lichtreflexionen bei nasser Fahrbahn.
 - Markantes Wetter (Starkregen z.B.).
 - Wildwechsel.
 - Wild auf der Straße.
 - Viel Gegenverkehr auf kurviger Straße.
 - Unbekannte Landstraßen/Ortschaften/Städte.
 - Blendung durch nachfolgenden Verkehr im Rückspiegel.
 - Die neuen Scheinwerfer...
 - Regen!
 - Nein. [Drei Nennungen.]
 - Adresse finden in schlecht beleuchteten Anwohnerstraßen, Fahren in einer unbekannten Stadt bei Nacht.
 - Starker Nebel (Sicht um die 50m).
 - Glätte, schlechte Sicht (z.B. bei Nebel), andere Verkehrsteilnehmer ohne Licht, andere Verkehrsteilnehmer, welche fahren als wären sie betrunken (auf der Straßenmitte, Schlangenlinien...).
 - Grelle Blinker bei Baustellen auf der Autobahn.
 - Unübersichtliche Verkehrsführung (vor allem in Innen-/Großstädten).
 - Schneefall, Fahrten durch Waldgebiete mit Wildwechsel, Überquerung von unbeschränkten Bahnübergängen.
 - Gegenverkehr auf Landstraßen.
 - Erhöhtes Wildaufkommen.
 - Keine gute Übersicht bei Nebel.
 - Wildtiere.
 - Strecken mit Wildwechsel.
 - Unbeleuchtete Straßen.
 - Regen, nasse Fahrbahn, Wild am Fahrbahnrand.
 - Tiere auf der Landstraße.
 - Wenn ich durch den Gegenverkehr geblendet werde und so nicht auf meine Spur achten kann.

-
- Wenn Straßenmarkierungen bereits stark abgenutzt sind und im Dunkeln nur noch schlecht zu sehen sind. Vor allem, wenn man in einer fremden Stadt unterwegs ist.
 - Glätte/Nässe auf der Fahrbahn, die das Leuchten reflektiert.
 - Dichtes Auffahren von Fahrzeugen mit zu hoch eingestellten Scheinwerfern.
 - Altersgruppe 26 bis 50 Jahre:
 - Fahrzeugspurwechsel ohne Blinker, Auffahren auf ein Stauende.
 - Baustellen auf Autobahnen.
 - Blendende Fahrzeuge, die hinter mir fahren.
 - Fahrt in unbekannter (Groß-)Stadt.
 - Fernlicht nicht abgeschaltet.
 - Regen. [Zwei Nennungen.]
 - Regen, Schnee, Nebel.
 - Regen und Schneematsch zusammen, das Streusalz bedeckt die Windschutzscheibe.
 - Regen, Schnee. [Zwei Nennungen.]
 - Spurwechsel auf der Autobahn.
 - Starker Regen. [Zwei Nennungen.]
 - Starker Regen und Schnee.
 - Unter Tempolimit fahrende Fahrzeuge vor einem; drängelnde Fahrzeuge hinter einem, wenn man schon über Tempolimit unterwegs ist.
 - Warnblinker bei vorausfahrendem Wagen.
 - Wild auf Landstraßen.
 - Wildschweine.
 - Aufblinkendes Licht von hinten.
 - Volle unbekannte Straßen.
 - Am Waldrand (Wild) fahren, Lichthupe von Dränglern.
 - Nein. [Vier Nennungen.]
 - Nebel, Glatteis.
 - Zu langer Frage / Antwort Bogen... Kein Bock mehr!
 - Unbeleuchtete Fahrradfahrer.
 - Wenn tatsächlich das Fernlicht bei den entgegenkommenden Fahrzeugen vergessen wird und sie nicht abblenden.
 - Fehlende Ortskenntnis.
 - Überholsituationen, zu hohe Geschwindigkeit.
 - Baustellen, insbes. wenn die Beleuchtung durch Flutlicht den Verkehr blendet.
 - Unterschiedlich wild blinkende Baken an einer Autobahnbaustelle!
 - Wildwechsel.
 - Nebelscheinwerfer ohne Nebel, Fernlicht im Rückspiegel, blinkende Lichter (an Fahrrädern oder auch Autos).
 - Regen und Stau.
 - Regen, Unsicherheit bezüglich des richtigen Weges.

-
- Regen und Gegenverkehr empfinde ich als sehr störend!
 - Nasse Fahrbahnoberflächen.
 - Regen: Lichtreflexionen, Schmierfilm auf der Scheibe.
 - Regen oder Nebel.
 - Schnelle Fahrzeuge.
 - Enge Autobahnkurven.
 - Drängler, Autos, die auf die linke Spur ziehen und den rückwärtigen Verkehr nicht einschätzen.
 - Dicht auffahrende/drängelnde Fahrzeuge, Baustellen.
 - Wenn andere nicht vorhersehbar reagieren.
 - Keine Beleuchtung auf (engen) Landstraßen und entgegenkommende Fahrzeuge.
 - Blendung und Fußgänger oder Fahrradfahrer.
 - Man sieht ein Tier am Straßenrand (z. B. Katze innerorts, Reh außerorts – da wo eins ist, sind ja vielleicht noch mehr).
 - Eng auffahrender Hintermann.
 - Altersgruppe 51 bis 70 Jahre:
 - Starker Regen
 - Ausscheren, ohne Blinker zu setzen.
 - Unbekannte, kurvenreiche Landstraßen ohne Straßenmarkierungen.
 - Tiere am Wegesrand besonders bei Überlandfahrten.
 - Landwirtschaftlicher Verkehr (Traktoren, Mähdrescher usw.) auf Landstraßen (zur Erntezeit eben auch nachts).
 - Fußgänger, Radfahrer mit wenig Beleuchtung, Hinweis auf Wildwechsel.
 - Falsch (zu hoch) eingestellte Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge.
 - Blaulicht von Polizei und Rettungswagen.
 - Extrem kleine aber blendende Scheinwerfer bei Regen und der Gischt vorausfahrender Lkw.
 - Wildwechsel.
 - Keine. [Zwei Nennungen.]
 - Wenn entgegenkommende Fahrer nicht abblenden.
 - Regen. [Zwei Nennungen.]
 - Regen, Nebel.
 - Nebel.
 - Nichts, was mit Beleuchtung zusammenhängt.
 - Nasse Straßen im Winter, unklar ob nur nass oder vereist.
 - Schlechte Strassen.
 - Unbekannte und schlecht beleuchtete Straßen.
 - Nebel, Schnee, Glatteis und starker Regen.
 - Müdigkeit.
 - Witterungsverhältnisse, z.B. Regen, Schnee.
 - Nah auffahrender, ungeduldiger Hintermann, dem ich zu langsam fahre.

-
- Wilde Tiere und starker Wind.

Antworten auf die Frage 510: „Gibt es weitere Dinge oder Geschehnisse, die Gefahrensituationen verursachen?“:

- Altersgruppe 18 bis 25 Jahre:
 - Wild. [Zwei Nennungen.]
 - Wildwechsel.
 - Unaufmerksame Fahrer, die zum Beispiel (während dem Fahren) rauchen oder telefonieren.
 - Blendung.
 - Regen. [Zwei Nennungen.]
 - Markantes Wetter (Starkregen z.B.).
 - Unnütz eingeschaltete Nebel- oder Fernlicht-Scheinwerfer bei Gegenverkehr.
 - Tiere... Beifahrer...
 - Haufenweise... hat aber nichts mit der Beleuchtung zu tun.
 - PKW, die ohne Blinken mit niedriger Geschwindigkeit Spurwechsel nach links vollziehen auf der AB.
 - Vermehrter Wildwechsel.
 - Zu schnelles Fahren.
 - Grelle Blinker bei Baustellen auf der Autobahn.
 - Schlechte Übersicht, zu viel Bewegung auf der und um die Straße herum(Beispielszenario: Frankfurt, Weihnachtsmarkt, Abend).
 - Andere Verkehrsteilnehmer mit teilweise defekter Beleuchtung.
 - Nässe.
 - Unübersichtliche Strecken auf Landstraßen (Kurven).
 - Nein. [Zwei Nennungen.]
 - Verkehrsteilnehmer ohne Licht.
 - Beschlagene Scheiben. :-D
 - Nebel.
 - Tiere auf der Landstraße.
 - Zu schwache Scheinwerfer/falsch eingestellte Scheinwerfer, aufgrund dessen eine plötzliche Kurve nicht sehen.
 - Unbeleuchtete Fahrradfahrer am Rande von Landstraßen, mangelhaft beleuchtete entgegenkommende Traktoren auf (schmalen) Landstraßen (bei denen man ihre Breite nicht ausmachen kann).
 - Wenn ich nichts sehe, weil sämtliche modernen Scheinwerfer blenden, insbesondere vom Gegenverkehr aus einer (von ihnen gesehen) Rechtskurve. Denn nach rechts hin sind Scheinwerfer höher eingestellt und blenden so noch mehr, was insbesondere in einer Kurve [Rest fehlt].
- Altersgruppe 26 bis 50 Jahre:
 - Gleichzeitige Sinneseindrücke.
 - Plötzliches Ausscheren von Fahrern auf der Autobahn durch falsches Einschätzen der Geschwindigkeit.
 - Spurwechsel auf dreispuriger Autobahn: schwer einzuordnen, auf welcher Spur einzelne Autos fahren.
 - Tiere auf der Landstraße.
 - Verunsicherte Verkehrsteilnehmer.
 - Wildwechsel. [Drei Nennungen.]

-
- Starker Regen.
 - Wilde Tiere, Wetterbedingungen.
 - Entgegenfahrende wechseln ihr Licht (Fern-) nicht!
 - Fahrradfahrer ohne Beleuchtung.
 - Starker Regen/Schnee.
 - Nein. [Drei Nennungen.]
 - Beleuchtung, die blendet.
 - Wild.
 - Starkregen.
 - Zu langer Frage- / Antwort-Bogen... Kein Bock mehr!
 - Schleicher.
 - Stop and Go mit plötzlichem Spurenwechsel.
 - Schlechte Witterungsverhältnisse empfinde ich im Dunkeln störender als im Hellen.
 - LED-Tagfahrlicht in der Dämmerung (lenkt Vorfahrende ab und grenzt an Nötigung).
 - Nässe, Laub auf der Strasse.
 - Tiere auf der Fahrbahn.
 - Wechselnde Lichtverhältnisse: Fahren durch eine Allee, Tunnel.
 - Tiere, Autos mit kaputtem Licht.
 - Die eigene Fitness, Müdigkeit, genereller Gesundheitszustand.
 - Unbekannte Strecke.
 - Fahrzeuge mit nicht intakter Beleuchtungsanlage. Hier fahren noch viel zu viele Autos herum, die es nicht merken.
 - Regen oder Nebel.
 - Schnelle Fahrzeuge.
 - Unbeleuchtete Fahrzeuge und Fußgänger.
 - Schlecht ausgeleuchtete Autobahnabfahrten mit kleinen Radian.
 - Ja.
 - Wenn andere nicht vorhersehbar reagieren.
 - Bei starken Regenfällen und Aquaplaning auf den Straßen und im Besonderen auf den Autobahnen. I.d.R. fahre ich so langsam, dass mich LKWs überholen müssen. Das dann aufgewirbelte Wasser von den Straßen auf die Frontscheibe versperrt mir regelmäßig die Sicht.
 - In der Stadt fahren Leute oft nachts ohne Scheinwerfer los, da sie es wegen der Straßenbeleuchtung nicht bemerken.
 - Straßenmarkierungen, die bei nasser Fahrbahn im Dunkeln nicht mehr erkennbar sind.
- Altersgruppe 51 bis 70 Jahre:
 - Starker Regen.
 - Ohne zu schauen die Straße zu queren.
 - Nebel und/oder Glatteis.
 - Unterschätzte Müdigkeit und/oder Starkregen.
 - Regen oder Schneetreiben bei Dunkelheit.

- Auf der falschen Seite entgegenkommende Fahrradfahrer auf ihren Fahrrädern!
- Baustellenbeleuchtung.
- Alte Scheibenwischer und/oder Schlieren auf der Frontscheibe.
- Glatteis.
- Keine.
- Wildwechsel. [Zwei Nennungen.]
- Schneetreiben und Glatteis.
- Spritzwasser.
- Nichts, was mit Beleuchtung zusammenhängt.
- Nebelschlussleuchte des Vordermanns insb. wenn das Fahrzeug zwei hat.
- Glätte, Unfälle.
- Baustellen. [Zwei Nennungen.]
- Unbeleuchtete Fahrzeuge am Straßenrand und unbeleuchtete Radfahrer.
- Schlechte, keine Fahrbahnmarkierung.

Tabelle A.82.: Ergebnisse der Kategorie Sonstiges – Frage 511 – "Hatten sie jemals einen Unfall während des Fahrens bei Dunkelheit?"

	alle	18-25 Jahre	26-50 Jahre	51-70 Jahre
ja	26	5	15	6
nein	188	61	92	35
k.A.	3	1	2	0
gesamt	217	67	109	41

Antworten auf die Frage 512: „Wenn ja, wodurch wurde dieser verursacht?“:

- Altersgruppe 18 bis 25 Jahre:
 - Nasse Fahrbahn mit Wild.
 - Nebel.
 - Tiere. [Zwei Nennungen.]
- Altersgruppe 26 bis 50 Jahre:
 - Aquaplaning.
 - Blitzeis.
 - Blitzeis auf der Autobahn.
 - Durch überhöhte Geschwindigkeit.
 - Glatteis. [Zwei Nennungen.]
 - Reh auf der Landstraße.
 - Reh von rechts.
 - Selbstverschuldet, durch Unachtsamkeit. Es waren keine weiteren Fahrzeuge involviert.
 - Tiere.
 - Überhöhte Geschwindigkeit auf nasser Fahrbahn.
 - Vorfahrt missachtet.
 - Wild kreuzte nachts die Landstraße.

-
- Wildwechsel auf der Landstraße (Reh kam die Böschung hoch und stand plötzlich vor dem Wagen; Kollisionsgeschwindigkeit ca. 60 km/h).
 - Altersgruppe 51 bis 70 Jahre:
 - Dunkel gekleideter, an falscher Stelle querender Fußgänger.
 - Fußgänger überquerte frühmorgens zwischen haltenden Fahrzeugen die gegenüberliegende Fahrbahn.
 - Glatteis.
 - Ich suchte den Schalter für den Scheibenwischer.
 - Wildwechsel.
 - Zu schnell bei Aquaplaning.

Wissenschaftlicher und beruflicher Werdegang

Nina Müller

Diplom-Physikerin

geb. am 15.10.1980 in Limburg an der Lahn

verheiratet

Juni 2014 – heute	Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement Strategisches Verkehrsmanagement Projektleitung: Erneuerung der Verkehrsrechnerzentrale Hessen
Juli 2010 – Mai 2014	Technische Universität Darmstadt Fachgebiet Lichttechnik Doktorandin / Wissenschaftliche Mitarbeiterin Thema Dissertation: Komplexitätswahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehrsraum – Einflussfaktoren und Analyse
Oktober 2008 – Juni 2010	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. GSOC / Raumflugbetrieb / Missionsplanung Mission Planning Engineer / Wissenschaftliche Mitarbeiterin Missionsanalyse, Software-Entwicklung Mitentwicklung des Mission Planning Systems für TanDEM-X
März 2003 – Oktober 2008	Technische Universität Darmstadt Physik, Institut für Kernphysik, Strahlen- und Kernphysik Thema Diplomarbeit: Experimente und Simulationen zur Planung des Protonenradiografie-Aufbaus an FAIR
Februar 2003 – März 2006	Deutsche Bank AG Banking IT - Personal Banking Systems Anwendungsentwickler / Business Analyst Web-Entwicklung; Entwicklung von COBOL/DB2- und VBA- Applikationen
August 2000 – Januar 2003	Deutsche Bank AG Anwendungsentwickler / Business Analyst Banking IT - Personal Banking Systems IHK-Ausbildung zum Fachinformatiker/Anwendungsentwicklung Thema Abschlussarbeit: Entwicklung eines web-basierten Fehlermanagement-Systems
August 1997 – Juli 2000	Gymnasiale Oberstufe der Taunusschule Bad Camberg
August 1991 – Juli 1997	Taunusschule Bad Camberg
August 1987 – Juli 1991	Grundschule Bad Camberg - Würges

Erklärung laut §9 der Promotionsordnung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Dissertation ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Bad Camberg, den 18. Januar 2017

Nina Müller